

III
PROBLEMY MODULARYZACJI
W PROCESACH PRODUKCYJNYCH

Roman KIELECUniwersytet Zielonogórski
Zielona Góra, Polska**PLANOWANIE PROCESÓW PRODUKCYJNYCH O CHARAKTERZE ITERACYJNYM****PLANNING OF ITERATIVE PRODUCTION PROCESSES****WSTĘP**

W dzisiejszych czasach rynek stawia przed przedsiębiorstwami produkcyjnymi coraz większe wymagania. To z kolei zmusza firmy do podejmowania działań, które będą dostosowane do potrzeb klientów zarówno obecnych, jak i przyszłych.

Globalizacja konkurencji i zanikanie granic gospodarczych w świecie biznesu wymaga od współczesnych przedsiębiorstw energicznej reakcji na zachodzące zmiany. Umiejętność sprostania wymogom ery informacji zależy w decydującym stopniu od wydajnych i sprawnych procesów, które stają się podstawą sukcesu przedsiębiorstwa. Strategia każdej firmy ma na celu osiągnięcie najkorzystniejszej pozycji na rynku. Aktywność jego zmian prowadzi do tego, że złożone zadania produkcyjne muszą być wykonywane w coraz to krótszym czasie. Dla wielu przedsiębiorstw produkcyjnych coraz bardziej istotnym stają się czynniki czasu i kosztu, które są zazwyczaj ściśle związane ze sobą. Oszczędność czasu zatem prowadzi również do zmniejszenia kosztów w myśl powiedzenia „czas to pieniądz”.

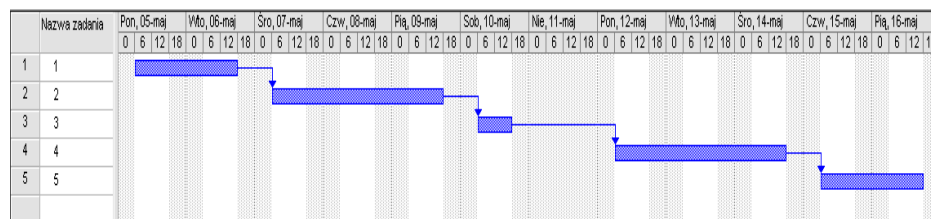
Metody planowania procesów produkcyjnych o charakterze iteracyjnym mogą stanowić więc przyszłościowe narzędzie wspomagające proces projektowania produkcji z uwzględnieniem wielu różnorodnych czynników wpływających na czas wykonania oraz koszt produktu.

TRADYCYJNE METODY PLANOWANIA PROCESÓW PRODUKCYJNYCH

W ostatnich latach funkcjonowanie przedsiębiorstw produkcyjnym stało się coraz złożone i kosztowne. Wzrosła zatem trudność, a jednocześnie znaczenie przygotowania skutecznych planów i decyzji. Opracowano wiele metod i narzędzi ułatwiających planowanie i rozwiązywanie problemów.

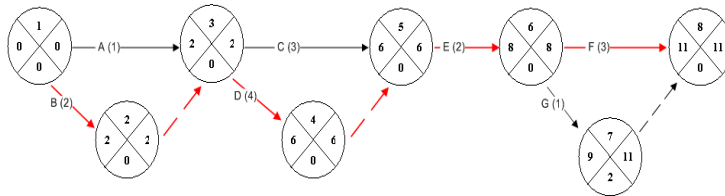
Obecnie stosowane są najczęściej różne odmiany wykresów Gantta i metody PERT. Wykres Gantta zwany też wykresem belkowym jest najczęściej używaną techniką planowania projektów.

Wadą wykresów belkowych jest brak możliwości ujmowania złożonych relacji między zadaniami, które z reguły występują w większych projektach (rys.1).



Rys.1. Wykres Gantta

Większe możliwości w tym zakresie dają sieciowe metody planowania. Oryginalną sieciową metodę planowania przedsięwzięć zwaną PERT (Program Evaluation i Review Technique) opracowano w 1957 roku dla amerykańskiego programu Polaris. Zastosowanie tej metody w jej pierwotnej postaci okazało się mało praktyczne, głównie ze względu na konieczność statystycznego szacowania niepewności czasów realizacji zadań. Jakkolwiek ta forma planowania jest już rzadko stosowana w praktyce, to nazwa PERT utrzymała się jako synonim różnych udoskonalonych sieciowych metod planowania. Obecnie, jeśli w jakimś przedsiębiorstwie stosuje się metodę PERT, to zwykle oznacza to wariant metody ścieżki krytycznej (rys.2) (Critical Path Method) [1].



Rys. 2. Metoda ścieżki krytycznej CPM

Opisane powyżej sieciowe metody planowania oraz wykres Gantta uwzględniają jedynie realizację sekwencyjną lub równoległą zadań częściowych, natomiast nie są one odpowiednie do procesów zawierających iteracje, które z reguły występują w projektowaniu i produkcji.

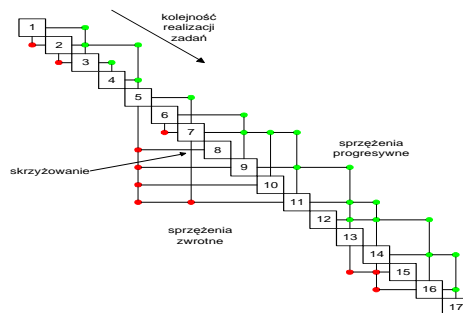
Istnieje zatem potrzeba opracowania innej nowatorskiej metody uwzględniającej charakter iteracyjny przedsięwzięcia.

CHARAKTERYSTYKA MACIERZY SPRZĘŻEŃ

Analiza realnych procesów projektowania technicznego wykazuje, że oprócz zadań, które muszą być wykonane jedno po drugim, czyli sekwencyjnie i takich, które mogą być wykonane równoległe, są też zadania, które muszą być wykonane iteracyjnie [3].

Koncepcja odpowiedniej metody została zaproponowana przez D. Stewarda [2] i jest obecnie rozwijana i stosowana w wielu ośrodkach. Metoda polega na zapisie zadań częściowych w postaci macierzy strukturalnej, w której zadania reprezentowane są przez numerowane pola mieszczące się na głównej przekątnej.

Istniejące pomiędzy tymi zadaniami relacje informacyjne zapisuje się w postaci sprzężeń. Zadanie może generować dane lub je absorbować od innego zadania. Przykład takiej macierzy dla 17 zadań cząstkowych pokazano na rys.3.



Rys.3. Macierz strukturalna o charakterze iteracyjny

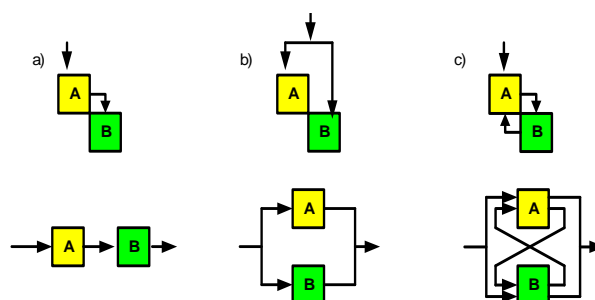
Proces rozpoczyna się od zadania w górnym lewym polu i postępuje do ostatniego zadania częściowego, w prawym dolnym polu.

Połączenia zaznaczone są liniami: wyjście zadania (wynik) to linia pozioma, a wejście – linia pionowa. Połączenia powyżej głównej przekątnej przedstawiają sprzężenia progresywne, natomiast połączenia poniżej przekątnej – sprzężenia zwrotne.

Realizację procesu rozpoczynamy od zadania 1, po którym wykonujemy kolejne zadania. Realizacja zadań odbywać się może sekwencyjnie, równocześnie lub współbieżnie.

Macierz zależności na rys. 3 obrazuje wszystkie te relacje, np. realizacja sekwencyjna zachodzi w przypadku zadań 3,4,5 oraz 7,9,11,13. Realizacja równoczesna ma miejsce w przypadku, kiedy dwa (lub więcej) zadania mogą być wykonywane niezależnie od siebie; np. zadania 9 i 10.

Realizacja współbieżna, charakteryzuje się ciągłą wymianą informacji, pomiędzy równocześnie wykonywanymi zadaniami. Zadania realizowane współbieżnie są sprzężone progresywnie i zwrotnie. W przedstawionej macierzy warunki współbieżności spełniają zadania 2 i 3, 7 i 11 oraz 14 i 16. Wymienione typy realizacji zadań częściowych przedstawiono graficznie na rys.4 [1].



Rys.4. Realizacja zadań a) sekwencyjna, b) równoległa, c) współbieżna.

Należy podkreślić, że sprzężenia poniżej głównej przekątnej oznaczają konieczność iteracyjnego wykonywania sprzężonych czynności, co jest niekorzystne. Powinno się ich zatem unikać, jeśli tylko istnieje taka możliwość.

PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA NA RZECZYWISTYM PRZYKŁADZIE PRZEMYSŁOWYM

Procedurę racjonalizacji przebiegu procesu produkcyjnego z uwzględnieniem sprzężeń zwrotnych (iteracji) przedstawiono na przykładzie wytwarzania rowerów w wybranym przedsiębiorstwie produkcyjnym województwa lubuskiego.

Po dekompozycji procesu produkcyjnego należy przedstawić dane w przejrzystej i wygodnej formie jaką jest tabela 1, w której zawarte zostały nazwy zadań częściowych, sprzężenia pomiędzy nimi oraz informacje dotyczące kosztów i czasów realizacji zadań.

Tabela 1. Czynności podstawowe, ich czasy, koszty oraz kolejność realizacji zadań z sprzężeniami

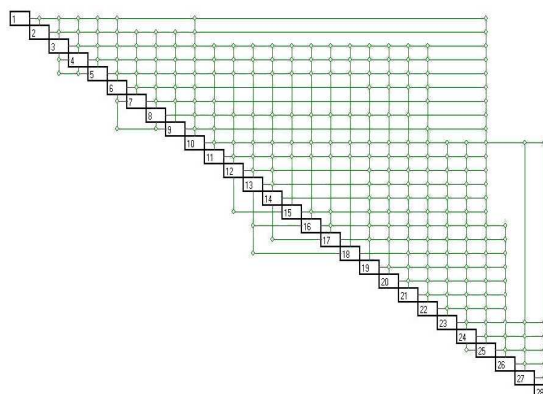
NR ZAD.	ZAD. CZĘŚCIOWE	SPRZĘŻENIA	CZAS	KOSZT
1	Bad. marketingowe	-----	10	1200
2	Sprecyz. Wymiarów	1	2	240
3	Oprac. proj. prod.	1,2,4,5	4	480
4	Oprac. konstrukcji	1,2,3,5	8	832
5	Opracowanie techn.	1,2,3,4	5	520
6	Poszukiwanie koop.	1,2,3,4,5,7,9	1	120
7	Opracowanie koszt	2,3,4,5,6	3	288
8	Zakupy materiałów	2,3,4,5,6,7,9	1	96
9	Zakup z kooperacji	2,3,4,5,6,7	1	216
10	Kontrola wykonania	1,2,3,4,5,6,7,8,9	1	176
11	Określenie zadań	3,4,5,7,8,9,10	4	416
12	Cięcie el. na ramy	3,4,5,8,10,11,15	2	112
13	Wygięcie elementów do ram	3,4,5,8,10,11,12,16,18	5	25320
14	Spawanie ram rower	3,4,5,8,10,11,...	8	576
15	Cięcie profilu Alu.	3,4,5,8,10,11	2	2612
16	Wygięcie widełek	3,4,5,8,10,11,15	4	5256
17	Spawanie	3,4,5,8,10,11,15	3	216
18	Wygięcie kierownicy	3,4,5,8,10,11	3	5192
19	Malowanie podzespołów	3,4,5,6,8,10,11,12,13,14,15,16	5	1820
20	Suszenie podzespołów	3,4,5,6,8,10,11,12,13,14,15,.....	4	224
21	Montaż podstawowego produktu	3,4,5,6,8,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20	4	183824
22	Wypożyczenie w elementy indywidualne	3,4,5,6,7,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,	27	1512
23	Kontrola gotowych produktów	10,11,12,13,14,15,16,17,18,...	8	576
24	Przekazanie do magazynu	10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,25	1	156
25	Kontrola planu	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24	1	176
26	Magazynowanie	16,17,18,19,20,21,22,23,24,25	9	504
27	Kontakt z odbiorcami	10,23,24,25,26	3	696
28	Pakowanie i wysyłka	10,23,24,25,26,	4	224

Z tabelarycznego zestawienia zdekomponowanego procesu przechodzimy do macierzowej reprezentacji realizacji zadań częściowych procesu.

REPREZENTACJA PROCESU PRODUKCYJNEGO - MACIERZ SPRZĘŻEŃ

Na podstawie danych z tabeli 1 utworzono w autorskim programie MAG-Project macierz sprzężeń.

Poniżej, rys. 5 przedstawia macierz, której przebieg procesu produkcyjnego jest zgodny z rzeczywistą kolejnością realizacji procesu. Zadania częściowe procesu produkcyjnego są zastąpione ponumerowanymi polami umieszczonymi na głównej przekątnej z tab.1 [3].



Rys. 5. Macierz zależności procesu produkcyjnego

W tabeli 2 przedstawiono całkowity koszt i czas realizacji produktu, oraz ilość sprzężeń zwrotnych występujących w macierzy zależności.

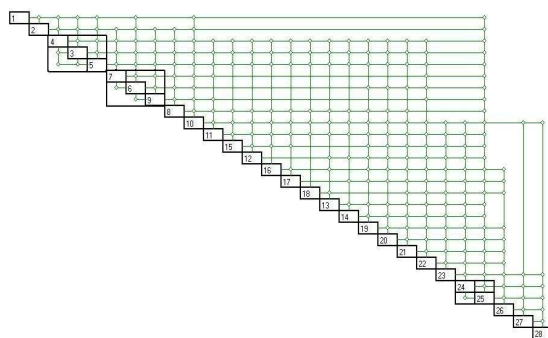
Tabela 2. Koszt [zł] i czas [dni] realizacji zadań częściowych przed reorganizacją

Całkowity koszt realizacji produktu	350064
Całkowity czas realizacji produktu	267
Koszt sprzężeń zwrotnych	116484
Czas sprzężeń zwrotnych	134
Sprzężeń zwrotnych (iteracji)	11

PLAN REALIZACYJNY OPTYMALNEGO PROCESU ITERACYJNEGO

Zastosowany do przeprowadzenia analizy iteracyjnej autorski program MAG-Project wykorzystuje specjalnie zaprojektowany algorytm ewolucyjny. Dzięki połączeniu metody z algorytmem ewolucyjnym w łatwy i szybki sposób można przeprowadzić reorganizację zadań częściowych w celu zmniejszenia liczby sprzężeń zwrotnych [4].

Zaproponowana metoda planowania, daje nowe możliwości grupowania i porządkowania działań projektowych. Dzięki temu staje się jasne, które działania mogą być prowadzone jednocześnie, a które sekwencyjnie. Poprzez odpowiednie przestawianie wierszy i kolumn macierzy strukturalnej można zmniejszyć liczbę sprzężeń zwrotnych i uzyskać znaczne skrócenia czasu oraz zmniejszenie kosztów produkcji. Macierz zależności po reorganizacji przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Macierz zależności po reorganizacji

Wyniki jakie zostały otrzymane po reorganizacji procesu produkcyjnego przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Koszt [zł] i czas [dni] po reorganizacji

Całkowity koszt realizacji produktu	238680
Całkowity czas realizacji produktu	179
Koszt sprzężeń zwrotnych	5100
Czas sprzężeń zwrotnych	46
Sprzężeń zwrotnych (iteracji)	6

Dzięki reorganizacji zmniejszono liczbę sprzężeń zwrotnych o 5, w stosunku do oryginalnego. Daje to w konsekwencji zredukowany koszt i czas realizacji przedsięwzięcia.

Proces produkcyjny z rys. 6 rozpoczyna się zadaniem 1-*Badania marketingowe*, po czym kolejno są wykonywane zadania 2-*Sprecyzowanie wymagań*, 4-*Opracowanie konstrukcji*, 3-*Opracowanie projektu produktu*, 5-*Opracowanie technologii*,

7-*Opracowanie kosztów*, 6-*Poszukiwanie kooperacji*, 9-*Zakup podzespołów*, 8-*Zakup materiałów*, 10-*Kontrola wykonania*. Po realizacji zadania 11- *Określenie zadań* zostają wykonywane równoległe zadania 15-*Wygięcie elementów na ramy* i 18-*Wygięcie kierownic*. Zadanie 15 musi być zakończone aby móc rozpocząć zadanie 12- *Cięcie elementów na ramy*, które jest wykonywane równoległe z zadaniem 16- *Wygięcie widełek*. Do realizacji zadania 17- *Spawanie*, musi zostać zakończone zadanie 16. Wraz z zadaniem 17 równoległe jest wykonywane zadanie 13- *Wygięcie elementów na ramy*. Zadanie 12, 17 i 18 są jednymi z zadań kończących ze względu, że nie generuje danych potrzebnych w dalszej części przebiegu procesu. Po zakończeniu zadania 13 kolejno są wykonywane zadania: 14-*Spawanie partii ram*, 19-*Malowanie podzespołów*, 20-*Suszenie podzespołów*, 21-*Montaż podstawowego produktu*, 22-*Wyposażenie w elementy indywidualne*, 23-*Kontrola gotowych produktów*, 24-*Przekazanie do magazynu*, 25-*Kontrola planu*, 26-*Magazynowanie*, 27-*Kontakt z odbiorcami*. Zadaniem, które kończy cały proces produkcyjny jest zadanie 28-*Pakowanie i wysyłka*.

ANALIZA PORÓWNAWCZA ZREORGANIZOWANEGO PRZEBIEGU PROCESU ITERACYJNEGO Z PRZEMYSŁOWYM

Podstawową i jedyną metodą używaną do reorganizacji procesów produkcyjnych i jego racjonalizacji, pod względem sprzężeń zwrotnych, jest macierz sprzężeń. Za pomocą tej metody ustalić możemy wszystkie rodzaje relacji pomiędzy zadaniami, czyli nie tylko sprzężenie progresywne ale również

zwrotne, co nie jest możliwe przy tradycyjnych metodach planowania takich jak Gantt, PERT, ponieważ uwzględniają w procesie realizacji produktu jedynie działania sekwencyjne i równoległe.

Tabela 4. Tabela porównująca możliwości realizacji zadań częściowych przed i po reorganizacji

Realizacja równoległa	Realizacja zadań po reorganizacji	
	równoległa:	współbieżna:
8,9	18,15	4,3
12,15,18	12,16	4,5
13,16	17,13	5,3
14,17		6,7
		9,6

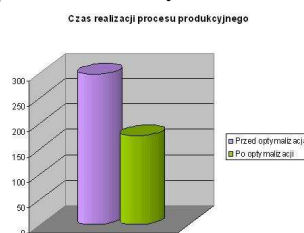
Przed reorganizacją proces produkcyjny zawierał 11 sprzężeń zwrotnych. Po reorganizacji zadań częściowych w macierzy sprzężeń pozostało tylko 6 sprzężeń zwrotnych.

W tabelach 5 i 6 oraz na wykresach 1 i 2 zestawiono oszczędność czasu i kosztu oryginalnego przebiegu procesu produkcyjnego, przekazanego przez przedsiębiorstwo i zreorganizowanego przez autorski program Mag-Project.

Tabela 5. Czas realizacji zadań częściowych

Całkowity czas realizacji zadań częściowych (dni)	
Przed reorganizacją	267
Po reorganizacji	176
Oszczędność	91
Oszczędność w %	35%

Na podstawie danych z tabeli 5 przedstawiono wykres kolumnowy.



Wykres 1. Porównanie czasów przed i po reorganizacji

Dzięki reorganizacji procesu metodą macierzową uzyskano znaczne skrócenie czasu realizacji procesu oraz zmniejszenie kosztów. Czas realizacji procesu produkcyjnego uległ znacznemu skróceniu o 91 dni co daje 35% oszczędności. Koszt natomiast zmniejszył się o 111384 złotych, czyli o 31,8%.

Tabela 6. Koszt realizacji zadań częściowych

Całkowity koszty realizacji zadań częściowych (zł)	
Przed reorganizacją	350064
Po reorganizacji	238680
Oszczędność	111384
Oszczędność w %	31,8%

Na podstawie danych z tabeli 6 przedstawiono wykres kolumnowy.



Wykres 2. Porównanie kosztów przed i po reorganizacji

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W wyniku rozpoznania przemysłowych procesów realizacji osiągnięto lepsze poznanie ich struktur. Uwidoczniło to potrzebę opracowania nowej metody planowania, ponieważ tradycyjne techniki, jak PERT czy Gantt, nie są dostosowane do procesów iteracyjnych. Zastosowanie tej metody, wykorzystującej tzw. macierz sprzężeń procesu, daje możliwość planowania nie tylko działań sekwencyjnych, równoległych i współbieżnych, ale także iteracyjnych.

Wyniki analizy przedstawione w niniejszej pracy pozwalają stwierdzić, że przez zastosowanie macierzy zależności uzyskano znaczne skrócenie czasu realizacji procesu produkcyjnego o 35% i zmniejszenie kosztów o 31,8%. Dzięki metodzie, która została przedstawiona, wystąpiły nowe możliwości grupowania i porządkowania działań.

LITERATURA

1. Kielec R., Metoda planowania procesów projektowo-konstrukcyjnych z uwzględnieniem sprzężeń zwrotnych, Rozprawa doktorska, Zielona Góra, 2003.
2. Steward D. V.: The Design Structure Systems: A Method for Managing the Design of Complex Systems. IEEE Transactions on Engineering Management. Aug. 1981.
3. Rohatyński R., Kielec R.: Racjonalizacja komputerowego wspomaganie projektowania współbieżnego – metoda i przykład, VI Międzynarodowa Konferencja Naukowa, Computer Aided Engineering, Polanica Zdrój, 2002.
4. Rohatyński R., Kielec R.: Implementation of matrix method and evolution algorithm for reorganization of design processes. EDIPROD 2002: third international seminar and workshop. Zielona Góra - Łagów, Polska, 2002.- Zielona Góra: Redakcja WNT UZ, 2002.

PLANNING OF ITERATIVE PRODUCTION PROCESSES

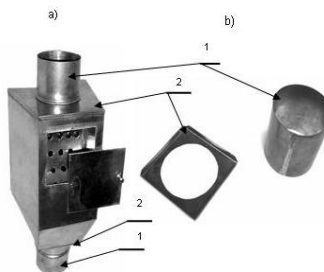
There are traditional production planning methods shown in this paper. Particular focus was put on insufficiency of basic planning method such as Gantt, PERT, etc. A new method based on matrix process representation is proposed. Its main advantage is to allow for iterative processes characteristic for complex production cycle.

Józef BEDNARCZYK
Wojciech WALOTEK
Akademia Górniczo – Hutnicza
Kraków, Polska

ZAUTOMATYZOWANE GNIAZDO DO ELEKTRODYNAMICZNEGO MONTAŻU ELEMENTÓW SYSTEMU RYNNOWEGO¹

AUTOMATED SOCKET FOR ELECTRODYNAMIC ASSEMBLY OF GUTTER SYSTEM ELEMENTS

Zbiornik rewizyjny, pokazany na rysunku 1a jest zespołem systemu rynnowego wbudowywanym w końcowy fragment pionowo usytuowanej rury spustowej, odprowadzającej wody opadowe do kanalizacji deszczowej, [1]. Dzięki zatrzymywaniu gromadzących się w komorze zbiornika zanieczyszczeń niesionych przez wodę chroni on sieć kanalizacyjną przed uszkodzeniem lub zatkaniem, [2].



Rys. 1. Zbiornik rewizyjny - (a), elementy przed montażem – (b); 1 – rura, 2 – pokrywa

W skład zbiornika wykonywanego z miedzi lub cynku wchodzi między innymi dwa podzespoły, połączonych mechanicznie ze sobą elementów: rura, pokrywa, (rys. 1b). Aktualnie w przemyśle montaż podzespołu realizuje się w trzech kolejnych operacjach: wypuklenie rury za pomocą ręcznie obsługiwanej wyoblarki, (rys. 2a); nasunięcie pokrywy na rurę i oparcie jej na wypukleniu; wywinięcie kołnierza na rurze poprzez ręczne rozklepanie w celu uzyskania trwałego połączenia z pokrywą, (rys.2b), [3].

¹ Badania finansowane w ramach prac statutowych 11.11.130.560 AGH w Krakowie



Rys. 2. Rura w uchwycie wyoblarki – (a), wyklepywanie kołnierza – (b)

Gotowy zespół rura–pokrywa zabudowany w zbiorniku rewizyjnym pokazuje zdjęcie na rysunku 3.



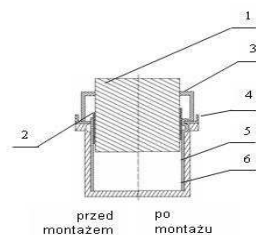
Rys. 3. Zespół rura-pokrywa osadzony w zbiorniku rewizyjnym

Zasadniczymi wadami opisanego sposobu montażu są:

- pracochłonność wynikająca z konieczności wykonywania kilku operacji na różnych stanowiskach
- czasochłonność określona sprawnością wykonywania poszczególnych operacji przez pracowników,
- prymitywizm polegający na przeważającym udziale w procesie wytwórczym prac ręcznych.

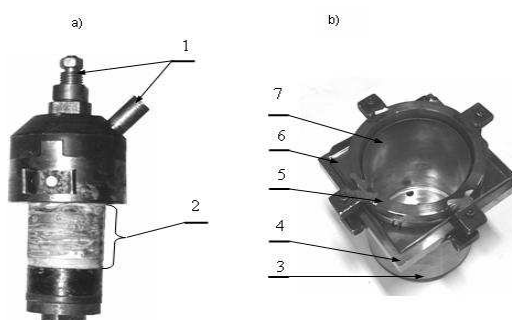
ELEKTRODYNAMICZNY MONTAŻ PODZESPOŁU RURA-POKRYWA

W Katedrze Automatyzacji Procesów (KAP) opracowano i sprawdzono eksperymentalnie w warunkach laboratoryjnych niekonwencjonalną technologię elektrodynamicznego montażu podzespołu rura-pokrywa, w której wykorzystuje się działanie udarowych sił, powstających w impulsowym polu magnetycznym, [4]. Pole magnetyczne jest wytwarzane przez cewkę elektryczną zwaną induktorem, w której zwojach przepływa krótkotrwały prąd wyładowania kondensatorów, [5]. Umieszczenie walcowego induktora przewodzącego prąd wewnątrz metalowej rury powoduje wydukowanie w jej ścianie prądu wirowego, skierowanego przeciwnie niż prąd w zwojach induktora. W wyniku przepływu wspomnianych prądów powstająca siła Lorentza wywołuje krótkotrwałe odepchnięcie od zwojów induktora ścianki rury, w której po zderzeniu się z krawędzią umieszczonej na jej drodze pokrywy formuje się kołnierz i wypuklenie. Efektem tej operacji jest mechaniczne połączenie rury z pokrywą, rys. 4.



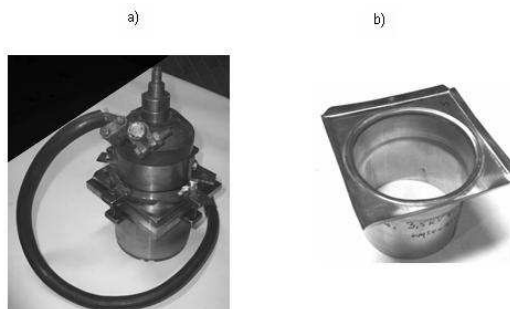
Rys. 4. Elektrodynamiczny montaż zespołu pokrywa-rura: 1 - karkas, 2 – zwoje induktora, 3 - dociskacz, 4 - pokrywa, 5 - rura, 6 – korpus matrycy

Induktor, (rys. 5a), wykonano jako masywną, siedmiozwojową cewkę nawiniętą miedzianym płaskownikiem o przekroju $6 \times 2 \text{ mm}^2$, której zwoje zostały zaizolowane włóknem szklanym nasyconym kompozytem żywicy epoksydowej. Zespół matrycy, (rys. 5b) składał się ze stalowego korpusu zakończonego płytą oporową oraz dociskacza przewidzianego do usztywnienia blaszanej pokrywy w trakcie montażu podzespołu.



Rys. 5. Induktor – (a), zespół matrycy wraz z elementami przeznaczonymi do montażu – (b): 1 – zaciski wyjściowe induktora, 2 – zwoje, 3

Na rysunku 6a pokazany jest kompletny człon technologiczny używany w laboratorium do montażu rury z pokrywą, w którym wsunięty do wnętrza formowanej rury induktor jest osadzony koncentrycznie w korpusie matrycy, zaś widoczne na zdjęciu przewody są łączone z zaciskami generatora. Zmontowany podzespół prezentuje zdjęcie na rysunku 6b.

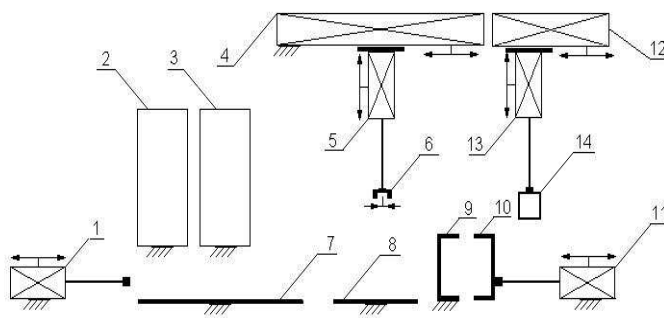


Rys. 6. Człon technologiczny - (a), podzespół rura-pokrywa zmontowany elektrodynamicznie – (b)

Porównując efektywność łączenia tradycyjnego i uzyskanego w opisanych badaniach należy podkreślić zdecydowanie lepszą jakość montażu elektrodynamicznego, który zapewnia uzyskanie: powtarzalnych kształtów półwyrobu, wyższej estetyki i dużej wytrzymałość uzyskanych połączeń. Istotne jest również to, że operację montażową, której czas trwania nie przekracza ułamków sekundy wykonuje się za pośrednictwem nieruchomego narzędzia - induktora, nie kontaktującego się bezpośrednio ze ścianką rozpęczanej rury. Wymienione cechy są przesłankami do wprowadzenia automatyzacji elektrodynamicznego montażu podzespołu rura-pokrywa w przemysłowym procesie wytwórczym.

AUTOMATYZACJA MONTAŻU RUR Z POKRYWAMI METODĄ ELEKTRODYNAMICZNĄ

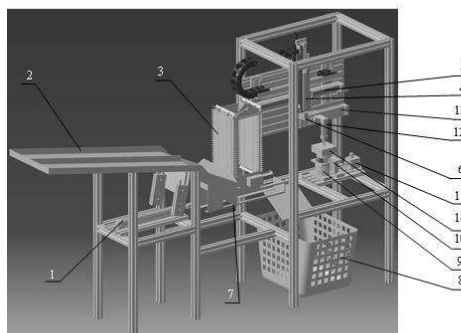
W ramach prac prowadzonych w KAP opracowano zautomatyzowane gniazdo do realizacji opisanej wyżej operacji montażowej, przy założeniu, że poza montażem będą w nim również realizowane czynności pomocnicze niezbędne do przemieszczania łączonych elementów oraz zmontowanych podzespołów. Zgodnie z opracowaną koncepcją (rys. 7), w gnieździe przewidziano zespoły: podajnika, manipulatora, induktora, matrycy. W skład zespołu podajnika wchodzi: zasobnik 2 i pojemnik 3, które są zapełniane wstępnie pokrywami i rurami przeznaczonymi do montażu oraz prowadnica 7, po której, za pomocą siłownika 1 przesuwane są kolejno rura i pokrywa do położenia pozycjonowanego względem manipulatora. W zestawie manipulatora znajduje się chwytak 6 oraz napędy 4 i 5, przemieszczające go w poziomie i w pionie. Induktor 14 za pośrednictwem siłowników 12 i 13 realizujących ruchy poziome i pionowe zmienia położenie względem matrycy. W zespole dzielonej matrycy jej połówka 10 jest przesuwana siłownikiem 11 względem nieruchomej połówki 9, co umożliwia zamykanie i otwieranie matrycy.



Rys. 7. Schemat funkcjonalny gniazda obróbczego: 1 - siłownik pozycjonujący półwyroby; 2, 3 – zasobnik rur i pojemnik pokryw; 4, 5 – siłowniki przesuwające chwytak; 6 – chwytak; 7 – szyny prowadzące półwyroby; 8 – pojemnik z gotowymi wyrobami; 9 – nieruchoma połówka matrycy; 10 – ruchoma połówka matrycy; 11 – siłownik domykający matrycę; 12, 13 – siłowniki zmieniające położenie induktora; 14 – induktor

Ze względu na niewielkie masy elementów, które będą przemieszczane podczas pracy urządzenia do manewrowania nimi nie są wymagane siły i momenty o znacznej wartości, w związku z tym zdecydowano się na zastosowanie w gnieździe napędów pneumatycznych. Jest to korzystne również ze względu na stosunkowo niski ich koszt w porównaniu z innymi rodzajami napędów.

Model przestrzenny gniazda jest zaprezentowany na rysunku 8. Przy projektowaniu automatu korzystało w dużym zakresie z odpowiednio skonfigurowanych, gotowych elementów konstrukcyjnych dostępnych w ofertach firm produkujących elementy automatyki. Natomiast zespół podajnika, został zaprojektowany specjalnie z przeznaczeniem dla stanowiska obróbczego.



Rys. 8. Model przestrzenny gniazda obróbczego. Opis oznaczeń w tekście

W dalszym ciągu, na podstawie rysunku 8 opisano cykl pracy gniazda. Przed uruchomieniem gniazda zasobnik 2 wypełniany jest rurami, zaś pojemnik 3 – pokrywami. Pobudzenie przycisku start na pulpicie sterowniczym, który nie został uwidoczniony na rysunku, rozpoczyna pracę urządzenia. W pierwszej kolejności z zasobnika 2 wysuwana jest rura, która przemieszczając się pod wpływem siły ciężkości po specjalnie ukształtowanej w zasobniku bieżni, zostaje ustawiona pionowo i w tej pozycji opada na początkowy odcinek szyn prowadzących 7. Następnie tłoczysko siłownika 1 przesuwą rurę na koniec tych szyn, skąd zostaje pobrana przez chwytak 6, poruszany w kierunkach poziomym oraz pionowym za pomocą siłowników 4, 5 i umieszczona w otwartej matrycy 9. Z kolei uaktywnienie siłownika 11 powoduje dosunięcie ruchomej połówki matrycy 10, która unieruchamia znajdującą się wewnątrz matrycy rurę. W dalszym ciągu z pojemnika 3 zostaje wysunięta pokrywa, która opada na szyny prowadzące 7 i podobnie jak rura zostaje przemieszczona za pomocą siłownika 1 na koniec szyn 7. W kolejnym kroku chwytak 6 nasuwa pokrywę na umieszczoną w matrycy rurę, po czym wraca do położenia początkowego nad początkowy odcinek szyn 7.

Operacja montażu realizowana jest w drugim etapie pracy gniazda. Wówczas po wsunięciu induktora 14 do wnętrza matrycy przez siłowniki 12 i 13 następuje wyładowanie kondensatorów, co powoduje jednoczesne wywiniecie kołnierza nad pokrywę i uformowanie wypuklenia pod pokrywę, dzięki temu zostaje ona trwale połączona z rurą. Kolejnymi etapami w pracy gniazda są: ustawienie induktora 14 w pozycji wyjściowej, otwarcie matrycy, uchwycenie przez chwytak zmontowanego podzespołu i przeniesienie go nad pojemnik 8. Po opuszczeniu gotowego półwyrobu do pojemnika i powrocie chwytaka do pozycji wyjściowej rozpoczyna się kolejny cykl pracy gniazda.

Aby zwiększyć liczbę rur ładowanych wstępnie do gniazda zasobnik rur pomyślano, jako dwa równolegle usytuowane korytka. Rury zsuwające się swobodnie po bieżni korytek opadają naprzemiennie na początek szyn prowadzących dzięki zastosowanemu separatorowi pneumatycznemu.

W pojemniku pokryw przewidziano dwa równoległe ciągi ruchomych półek, które wypełniane są wstępnie pokrywami. Ponieważ każda para półek jest przeznaczona dla pojedynczej pokrywy wyeliminowano możliwość wzajemnego szepiania się pokryw. Zsynchronizowany przesuw półek zapewniają łańcuchy, przesuwane za pomocą kół zębatach, napędzanych poprzez przekładnię silnikiem skokowym. Opisane rozwiązania mechaniczne przyjęte w zespole podajnika powodują, że w każdym cyklu roboczym gniazda na szyny prowadzące 7 (rys. 8) dostarczane są kolejno jedna rura i jedna pokrywa. W zespole chwytaka prze-

widziano dwa rodzaje elementów chwytnych: trójpalcowy do przenoszenia rur i gotowych zmontowanych podzespołów oraz przyssawkowy do przenoszenia pokryw.

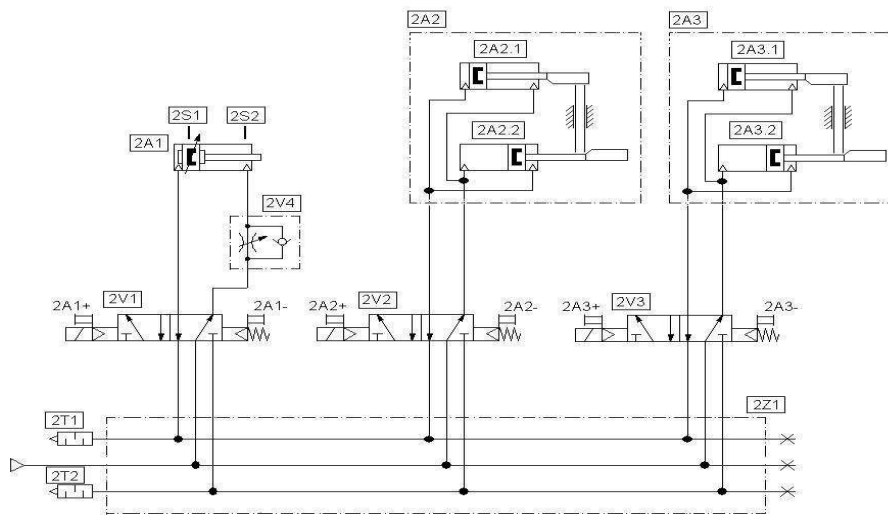
Induktor stanowi narzędzie obróbcze, które oddziałując siłowo na rurę w sposób bezdotykowy doprowadza do jej połączenie z pokrywą. Jest on wykonany w formie wzmocnionej mechanicznie, solenoidalnej cewki, której izolowane zwoje są nawinięte na walcowej powierzchni karkasu wykonanego z elektrycznego izolatora. W podstawie induktora został zabudowany dociskacz, który po wsunięciu induktora do wnętrza formowanej rury powoduje usztywnienie pokrywy na powierzchni dociskowej matrycy.

W zespole dzielonej matrycy ruchoma połówka jest przesuwana za pomocą siłownika o krótkim skoku, który charakteryzuje się dużą wartością siły pchającej oraz blokadą tłoczyska siłownika w pozycji wysuniętej. Dzięki temu uniemożliwione jest rozsuwanie się połówek matrycy podczas dynamicznej operacji montażu.

NAPĘD I STEROWANIE W ZAUTOMATYZOWANYM GNIEZDZIE

Napęd gniazda zrealizowano stosując siłowniki pneumatyczne, przy czym napędy w zespole podajnika i w zespołach części wykonawczej zostały wyposażone w oddzielne wyspy zaworowe. Do uruchamiania i wyłączania urządzenia przewidziano umieszczone na pulpicie przyciski obsługiwane przez operatora, zaś w celu zero-jedynkowej sygnalizacji: osiągnięcia progowych wartości położenia, określonych wartości wielkości fizycznych (np. ciśnienia), a także pożądaných opóźnień zastosowano: binarne czujniki zbliżeniowe, przetworniki pomiarowo-kontrolne oraz bloki czasowe.

Schemat pneumatycznego napędu zespołu podajnika pokazano na rysunku 9.

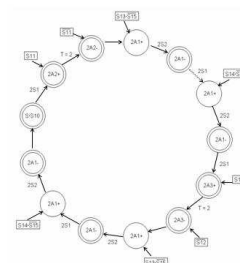


Rys. 9. Schemat pneumatycznego układu napędowego zespołu podajnika

Jego zadaniem jest podawanie półwyrobów umieszczonych w podajniku zgodnie z cyklem pracy gniazda. Elementami napędowymi są: siłownik pchający 2A1 oraz dwa separatory 2A2, 2A3. W skład każdego separatora wchodzi dwa siłowniki dwustronnego działania sprzężone pneumatycznie oraz mechanicznie w sposób zapewniający odpowiednią sekwencję wysuwu i powrotu ich tłoczysk. Dzięki temu separator posiada tylko dwa przyłącza pneumatyczne i w opisie cyklu pracy podajnika rozpatrywany jest jako pojedynczy siłownik dwustronnego działania. Dzięki zastosowaniu zaworu dławiąco-zwrotnego 2V4 możliwe jest

wybranie odpowiedniej prędkości wysuwu tłoczyska siłownika, przy której rura będzie przesuwana płynnie w pozycji pionowej. W układzie pneumatycznym (rys. 9) zastosowano trzy identyczne zawory rozdzielające 2V1 ÷ 2V3 sterujące pracą napędów, zamontowane na wspólnej płycie przyłączeniowej 2Z1. Ponadto przewidziano tłumiki hałasu 2T1, 2T2 i czujniki zbliżeniowe 2S1, 2S2.

Przykładowo algorytm pracy pneumatycznego układu napędowego w zespole podajnika przedstawiono w postaci grafu na rysunku 10.



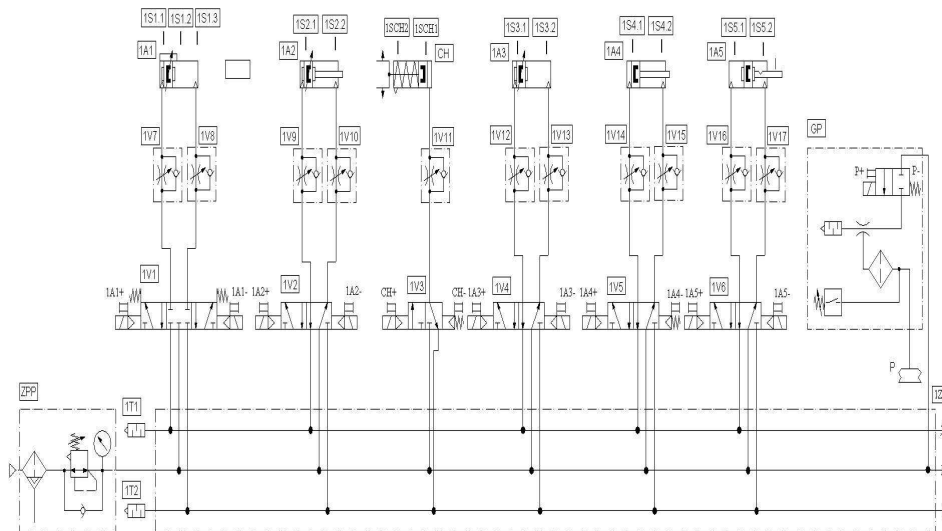
Rys. 10. Graf ilustrujący pracę zespołu podajnika

Symbole umieszczone w kółkach opisują kolejne kroki w cyklu pracy układu (znaki „+”, i „-”, informują kolejno o wysunięciu i wsunięciu tłoczyska określonego siłownika), przy czym podwójne kółko oznacza, iż układ znajduje się w stanie stabilnym, tzn. przejście do kolejnego kroku może nastąpić po uaktywnieniu czujnika zewnętrznego. Symbol w pojedynczym kółku oznacza stan niestabilny, z którego przejście do następnego kroku następuje na przykład po dojściu siłownika do pozycji krańcowej. Symbole umieszczone przy strzałkach oraz w ramkach oznaczają warunek przejścia układu do kolejnego kroku.

Cykl pracy układu zaczyna się od pola oznaczonego „S·S10” (S – przycisk start na pulpicie). Na rysunku 10 znajdują się również symbole czujników zastosowanych w układzie lecz nie figurujących na schemacie z rysunku 9, są to czujnik ciśnienia powietrza w sieci zasilającej – S10 oraz czujniki zbliżeniowe, wykrywające obecność elementów w określonych miejscach: S11 – rura w korytku 1 i pokrywa w zasobniku, S12 – rura w korytku 2 i pokrywa w zasobniku, S13 – rura na początku szyn prowadzących, S14 – pokrywa na początku szyn prowadzących, S15 – rura lub pokrywa na końcu szyn prowadzących. Symbol T oznacza zwłokę o długości 2 s, zaś negacja symbolu czujnika dotyczy sytuacji braku elementu w określonym miejscu.

Schemat napędu zespołów części wykonawczej gniazda przedstawia rysunek 11. W zespole chwytaka zastosowano moduł liniowy zestawiony z poziomego, bez tłoczyskowego siłownika 1A1 i pionowego siłownika 1A2, wyposażonego w dwa elementy chwytne: trójpalcowy CH do przenoszenia elementów rurowych oraz podciśnieniowy do transportu pokryw, zaopatrzony w cztery przyssawki P, współpracujące z generatorem podciśnienia GP. Zadaniem zespołu chwytaka jest umieszczenie rury a następnie pokryw w matrycy oraz odebranie gotowego wyrobu i umieszczenie go w pojemniku gotowych wyrobów. Do sterowania pracą siłownika 1A1 zastosowano trójpołożeniowy rozdzielacz 1V1 umożliwiający zatrzymywanie tłoka siłownika w trzech położeniach: nad rurą lub pokrywą ustawianymi na końcu prowadnicy znajdującej się w zespole podajnika; nad matrycą oraz nad pojemnikiem gotowych wyrobów. Siłowniki 1A3 i 1A4 służą do manewrowania induktorem wsuwany do wnętrza umieszczonej w matrycy rury w celu wykonania operacji montażowej i wysuwany po połączeniu jej z pokrywą. Siłownik 1A5 jest przeznaczony do poziomego przemieszczania ruchomej połówki matrycy, która zamyka i unieruchamia rurę umieszczoną w korpusie matrycy przed operacją montażową. Do wykrywania w matrycy obecności półwyrobów przed ich montażem w zespole matrycy wykorzystano, nie pokazane na schemacie, odbiciowo-zaporowe czujniki optyczne nieczułe na działanie pola magnetycznego wytwarzanego przez induktor. Uzyskane z nich sygnały wykorzystywane są do blokowania pracy gniazda w celu uniknięcia wyładowania kondensatora przez in-

duktor w przypadku pustej matrycy. Zastosowane w układzie zawory dławiąco-zwrotne 1V7 ÷ 1V17 (rys. 12) pozwalają na odpowiednie nastawianie prędkości ruchu tłoczków siłowników, co ma istotne znaczenie przy obsłudze gniazda związanej z koordynacją równoczesnych ruchów członów wykonawczych. Na rysunku 11 uwidocznione są, oznaczone symbolami cyfrowymi zawierającymi literę S czujniki zbliżeniowe sygnalizujące osiągnięcie określonych położenia przez członów wykonawczych siłowników pneumatycznych, zaznaczono również: zespół przygotowania powietrza ZPP, tłumiki 1T1 i 1T2 oraz listwę zaciskową 1Z1. Pneumatyczne układy napędowo-sterujące użyte w zautomatyzowanym gnieździe zaprojektowano wykorzystując wyroby firmy FESTO, [6].



Rys. 11. Schemat pneumatycznego układu napędowego zespołów części wykonawczej gniazda

W projektowanym urządzeniu przewidziano trzy tryby pracy: krokowy, automatyczny, zerujący, deklaratowane z pulpitu sterowniczego. Tryb krokowy polega na pobudzaniu tego samego przycisku na pulpicie, co powoduje realizację kolejnych kroków w pracy gniazda. Pozwala to na kontrolowanie poprawności działania urządzenia, umożliwia nastawianie odpowiednich prędkości członów wykonawczych w napędach oraz ułatwia korektę pracy poszczególnych zespołów. Inicjowany z pulpitu tryb automatyczny polega na samoczynnym realizowaniu kolejnych kroków w cyklicznej pracy automatu zgodnie z zaprogramowanym wcześniej algorytmem. Zerowanie pozwala na zatrzymanie pracy gniazda oraz powrót napędów do pozycji wyjściowych. Sterowanie pracą gniazda przewidziano z udziałem programowalnego sterownika.

ZAKOŃCZENIE

Przedstawione w artykule zautomatyzowane gniazdo do elektrodynamicznego montażu zespołu zbiornika rewizyjnego w systemach rynnowych jest przykładem innowacyjnego rozwiązania procesu produkcyjnego, poprzez wprowadzenie nowoczesnej, niekonwencjonalnej technologii zapewniającej poprawę jakości wykonywanych wyrobów i pozwalającej na kompleksową automatyzację operacji wytwórczych. Proponowane urządzenie zostało opracowane jako projekt wstępny i może być zaadaptowane do potrzeb konkretnego zakładu przemysłowego zajmującego się wytwórstwem podobnych wyrobów.

LITERATURA

1. Weber K.: Zastosowania miedzi. Roboty blacharskie w obrębie dachu. Wrocław 2005
2. Katalog wyrobów firmy PEREZ-PROTEC
3. Walotek W.: Zautomatyzowane gniazdo do elektrodynamicznego montażu podzespołu zbiornika rewizyjnego. Praca dyplomowa. AGH 2008
4. Bednarczyk J., Głuch G.: Automatyzacja wybranych operacji plastycznego formowania elementów o ograniczonych wymiarach metodą elektrodynamiczną z wykorzystaniem pośredniego ośrodka sprężystego. Prace Statutowe, KAP, AGH Kraków 2008
5. Bednarczyk J.: Elektrodynamiczna obróbka metali. Kraków, UWN-T AGH 2007
6. Materiały katalogowe firmy FESTO

**AUTOMATED SOCKET FOR ELECTRODYNAMIC ASSEMBLY
OF GUTTER SYSTEM ELEMENTS**

The article demonstrates an unconventional method developed at AGH – University of Science and Technology, involving electrodynamic mounting of a pipe to cover of an inspection tank constituting gutter system component. Moreover, the article presents an automated socket with pneumatic drives for industrial component production using electrodynamic technology.

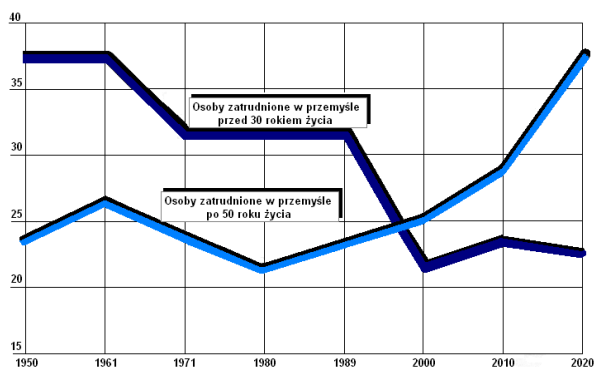
Bogusław REIFUR
 Politechnika Wrocławska
 Wrocław, Polska
Bartłomiej ENGEL
 Donako S.A.
 Wrocław, Polska

MODUŁ WSPOMAGANIA PRAC PROJEKTOWYCH DLA KONFIGURACJI ERGONOMICZNYCH STANOWISK MONTAŻOWYCH

MODULE FOR ERGONOMIC ASSEMBLY STANDS CONFIGURATION USING IN DESIGNING

MIEJSCE PRACY W OCENIE DYREKTYW UE I PRZEPISÓW PRAWA POLSKIEGO

Zwiększająca się konkurencja, koszty zatrudnienia, krótkie serie wyrobów, zmieniający się rynek i analiza rynku pracy w czołowych gospodarczo krajach UE, wykazują rosnącą ilość schorzeń spowodowanych niewłaściwym ukształtowaniem stanowisk pracy. Zwiększająca się populacja pracowników zbliżająca się do wieku emerytalnego (Rys. 1), oraz wymogi stawiane przez normy DIN, EN, PN i przepisy BHP a także towarzystwa ubezpieczeniowe powodują, że rosną wymagania odnośnie kształtowania otoczenia i wyposażenia stanowiska montażowego. Te rosnące wymagania związane ze stawianymi zadaniami szczególnie pracami montażowymi, coraz częściej przekraczają możliwości statystycznego pracownika i są przyczyną niskiej wydajności.

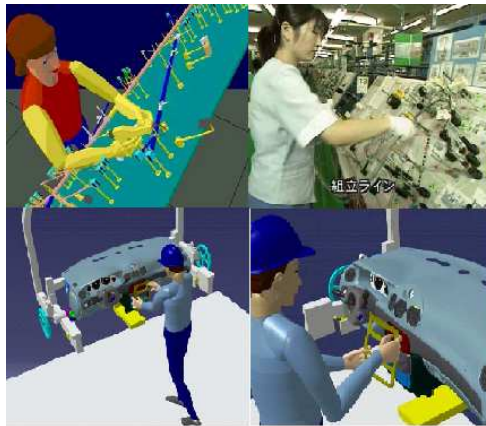


Rys.1. Analiza zatrudnienia dla osób przed 30 i po 50 roku życia w krajach EU

Odnosząc się do rynku pracy w Polsce i krajach UE, można zauważyć wyż demograficzny lat 1978-82, rosnący wiek emerytalny oraz nasiloną emigrację coraz to młodszych pracowników, co zmusza w perspektywicznych działaniach polskich pracodawców do poświęcenia coraz to większej uwagi warunkom pracy w celu podporządkowania procesów produkcyjnych pod populację pracowników przy zachowaniu wysokiej wydajności.

W dzisiejszych warunkach konkurencji, montaż i wykonywane w nim czynności wiążą się z takimi czynnikami jak: *szybkie tempo pracy* (56% respondentów musi wykonywać swoje zadania w szybkim tempie przez co najmniej 1/4 czasu pracy), *naglące terminy* - (60% twierdzi, że 25% czasu pracy zajmują im pilne prace terminowe), *szkodliwe warunki pracy* (hałas), *monotonia* (57% pracowników musi wykonywać ciągle te same ruchy rąk), to jedne z najczęściej wymienianych czynników wywołujących stres i dolegliwości układu mięśniowo-kostnego. Do tego dochodzą jeszcze problemy z właściwym pod względem ergonomicznym dostosowaniem stanowiska pracy.

Proces przygotowania procesu produkcyjnego z wykorzystaniem narzędzi inżynierii współbieżnej CE obejmuje projektowanie koncepcji początkowych, wykorzystując specjalne oprogramowanie ułatwiające dostęp do najmniejszych szczegółów czynności wykonywanych przez pracownika. Należą do nich systemy Delmia, UGS/Tecnomatix, ABATech, (Rys.2). Programy te umożliwiają trójwymiarową symulację podstawowych czynności, jak również wirtualną wizualizację całego procesu. Wszystkie możliwości montażu mogą być szczegółowo analizowane i rozpatrywana jest każda koncepcja.



Rys. 2 Kształtowanie stanowisk montażowych z wykorzystaniem systemów Delmia , UGS/Tecnomatix, ABATech.

Analiza ergonomii pracy i dostosowania stanowiska do potrzeb pracownika w celu uzyskania wysokiej wydajności i bezpieczeństwa pracy, oszczędności w procesie i jego niezawodności wymaga zaangażowania odpowiedzialnych za to działów lub osób zajmujących się ciągłym jego doskonaleniem. Wykorzystanie najnowszych technologii informatycznych takich jak rzeczywistość wirtualna lub symulatory daje możliwość udoskonalania warunków pracy i wdrożenia zasad ergonomii w procesie produkcyjnym. Pozwala zatem bez udziału pracownika ustalić najbardziej optymalne rozwiązanie oraz przeprowadzać szkolenia pracowników na trójwymiarowym modelu przestrzeni roboczej stanowiska montażowego [1, 2, 3].

Coroczny Raport Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy podaje że, na niekorzystne warunki środowiska pracy, takie jak zbyt duże tempo pracy, monotonia czy złe stosunki międzyludzkie narażone jest coraz większa liczba pracowników. Z powodu warunków pracy 30% populacji zatrudnionych w UE cierpi na dolegliwości układu ruchu (mięśniowo - szkieletowego), a 28% na skutki stresu. Czynniki te powodują 25-procentową absencję chorobową oraz obniżenie wydajności pracy [4]. Odnoszą się do tego dyrektywy ramowe zobowiązują pracodawców do:

Dyrektywa ramowa (89/391/EWG): pracodawcy mają "obowiązek zagwarantowania bezpieczeństwa i zdrowia pracowników we wszystkich aspektach związanych z wykonywaniem obowiązków służbowych".

Dyrektywy ramowe 90/270/EWG i 92/85/EWG: zawarte są konkretne odniesienia mówiące o potrzebie uwzględnienia czynników stanowiących obciążenie psychiczne. Ponadto, w "**Wytycznych w sprawie oceny ryzyka w miejscu pracy**" (ang. *Guidance on Risk Assessment at Work*), Komisja Europejska (1996b) zwraca uwagę na konieczność przeprowadzenia analizy "czynników natury psychologicznej, społecznej i fizycznej, ich wzajemnych zależności oraz interakcji z innymi czynnikami składającymi się na organizację i środowisko pracy". [11].

Dyrektywa 93/104/WE w sprawie niektórych szczegółowych zagadnień dotyczących organizacji czasu pracy, nakłada na pracodawcę obowiązek łagodzenia skutków pracy oraz narzuconego tempa pracy, szczególnie przez stosowanie przerw w pracy oraz projektowaniu stanowiska montażu pod względem ergonomicznym. Potwierdzeniem wymagań jest też wiedza zwarta w polskim ustawodawstwie opracowanym przez Ministerstwo Pracy i Polityki Socjalnej, w postaci Kodeksu Pracy z dnia 23 grudnia 1997 r., ujednoliconego 8 lutego 2005 roku oraz Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. zgodnym z Obwieszczeniem Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 28 sierpnia 2003 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Socjalnej w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy BHP.

Dziedzina ergonomii przemysłowej (*zajmująca się zasadami i metodami dostosowania warunków pracy do właściwości fizycznych i psychicznych człowieka, czyli takich konstrukcji urządzeń technicznych i kształtowania materialnego środowiska pracy, jakie wynikają z wymagań fizjologii i psychologii pracy*) wspomagana narzędziami CAD [3], poprzez dostosowanie urządzeń technicznych do potrzeb pracownika staje się zatem ważnym elementem nie tylko kształtowania stanowiska pracy ale też elementem dbałości o zdrowie i wydajność pracy pracowników. Pozytywnym zaś aspektem stosowania ergonomii są znaczne oszczędności wiążące się z krótszym czasem taktu oraz większą wydajnością pracownika, jego wygodą i zadowoleniem z pracy.

Opracowanie modułu programowego kreatora ergonomicznego kształtowania warunków montażu ułatwiającego kształtowanie stanowiska pracy podczas początkowej fazy projektowania procesu a obejmującego w szerokim zakresie konfigurację stanowiska montażowego i wspomagającego prace związane z organizacją i oceną efektywności prac montażowych, stało się mimo istnienia wielu specjalizowanych oprogramowań potrzebą czasu. Przedstawiony w dalszej części moduł programowy pomocny jest inżynierom odpowiedzialnym za planowanie procesów produkcyjnych montażu oraz konstruktorom produktu oraz urządzeń niezbędnych do wykonania produktu, a także osobom odpowiedzialnym za zamówienia urządzeń produkcyjnych. Moduł zawiera bazę danych ułatwiającą ergonomiczne kształtowanie stanowisk montażu ręcznego, jak również zbiór materiałów i fachowej literatury. Zawiera on zarówno wykaz przepisów prawnych, wykorzystanych norm oraz literatury i czasopism oraz wykaz instytutów zajmujących się tą tematyką. Każde zagadnienie jest uargumentowane konkretną normą, przepisem prawnym lub wiedzą pochodzącą z literatury.

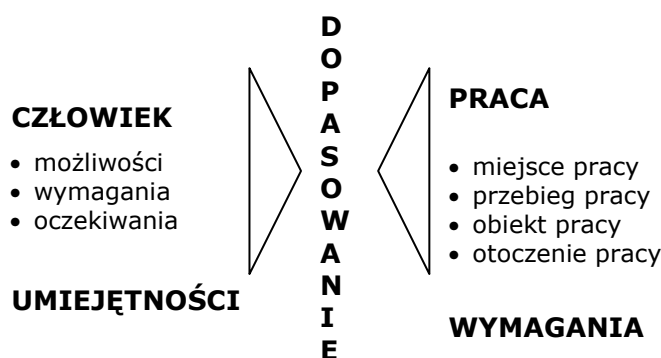
ZASADY KSZTAŁTOWANIA STANOWISKA PRACY

Projektowanie procesu technologicznego montażu oprócz danych ekonomicznych związanych z danym procesem, rodzajem i ilością produkowanego produktu, nakładami finansowymi na uruchomienie, czasem na realizację procesu oraz ogólnymi danymi organizacyjnymi i makroekonomicznymi, obejmuje zadania projektowania stanowisk montażowych i dokładną analizę czasu trwania zadań montażowych w określonych uwarunkowaniach sprzętowych i dostępnej powierzchni miejsca pracy. Po określeniu powyższych danych, można przejść do kształtowania samych stanowisk i otoczenia w którym będzie przeprowadzany proces.

Kształtując montaż trzeba zwrócić uwagę na obciążenie pracownika, warunki pracy i jego różnorodne przyczyny. Począwszy od podnoszenia ciężkich elementów i idącym za tym bardzo dużym obciążeniem mięśni, skończywszy na wyczerpaniu wzroku podczas montażu bardzo małych elementów. Dzięki ergonomii w montażu można ukształtować stanowisko tak aby jego negatywne skutki wpływały w jak najmniejszym stopniu na zdrowie pracownika. Chcąc natomiast w pełni uwzględnić uwarunkowania pracy, należy również

określić rodzaj oprzyrządowania, rozmieszczenia narzędzi, pojemników, maszyn i otoczenia stanowiska pracy. Niezbędna jest do tego konieczność współdziałania i korzystania z wiedzy specjalistów z różnych dziedzin. Należą do nich: ekonomia, socjologia, ergonomia, BHP, inżynieria, psychologia i pedagogika pracy oraz medycyna pracy. Dzięki współpracy wymienionych nauk można uczynić proces optymalnym i dostosować środowisko i wymogi technologiczne procesu do możliwości człowieka [5, 6, 7].

Uzyskanie postawionych celów produkcyjnych wymaga zwracania uwagi na wzajemne dopasowanie człowieka i wykonywanej przez niego pracy, na każdym etapie projektowania stanowiska montażowego. Równoczesne zestawienie praktycznych aspektów ekonomicznych i prawnych daje podstawę do właściwego zaprojektowania systemu pracy i co za tym idzie samego stanowiska. Bardzo ważnym jest określenie czynników charakteryzujących człowieka oraz pracy i ich wzajemne logiczne dopasowanie. Logiczne optimum można uzyskać tylko dobrze rozumiejąc umiejętności człowieka oraz wymagania związane z technologią procesu, obiektem pracy i jej otoczenia (Rys. 3.), a także procesem dopasowania umiejętności pracownika do wykonywanej pracy i wiążących się z nią wymagań.



Rys. 3. Wzajemne dopasowanie człowieka i wykonywanej pracy [4]

Optymalny proces projektowania powinien uwzględniać właściwości składników całego systemu, formy jego organizacji i właściwości technologicznych montażu aby następnie przejść do kształtowania stanowisk pracy na których będzie odbywał się montaż. Realizacja projektu powinna odbywać się zgodnie z zasadami i przepisami Polskiego Ustawodawcy. Zasady projektowania i przepisy Bezpieczeństwa i Higieny Pracy dotyczące kształtowania montażu zostały zawarte przede wszystkim w Rozporządzeniu Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z roku 1997 oraz Kodeksie Pracy. Cały proces projektowania powinien być oparty o zasadnicze obowiązki pracodawcy i podstawowe warunki pracy dostosowane do rodzaju pracy i wykonywanych czynności fizycznych oraz do zdolności psychofizycznych możliwości i komfortu pracy człowieka. Stanowiska muszą bezwzględnie spełniać warunki bezpieczeństwa przy jednoczesnym zapewnieniu swobody ruchów zgodnie z wymaganiami ergonomii.

Każde stanowisko pracy należy tak zaprojektować, aby:

- było spełnione zapotrzebowanie na powierzchnię przeznaczoną na realizację pracy, jak również na składowanie półproduktów, narzędzi, produktów gotowych.
- wyposażone w taką ilość surowców, materiałów pomocniczych, która jest absolutnie niezbędna, wynikająca z potrzeb i gwarantująca ciągłość produkcji.
- każde stanowisko pracy musi mieć swobodny i bezpieczny dostęp, jego wysokość w świetle na całej długości nie powinna być mniejsza niż 2m. Jeżeli jednak względy techniczne nie pozwalają na zachowanie tej wartości dopuszczalne jest zmniejszenie wysokości dojścia w świetle do 1,8m, przy odpowiednim oznakowaniu zgodnie z Polską Normą. Przejścia pomiędzy urządzeniami, maszynami prze-

znaczone tylko do obsługi tych maszyn powinny mieć szerokość co najmniej 0,75m w ruchu jednokierunkowym, natomiast w przypadku ruchu dwukierunkowego szerokość minimalna powinna wynosić 1m.

- w przypadku gdy zakład zatrudnia osoby niepełnosprawne, pracodawca musi zagwarantować dostosowanie stanowisk oraz dojścia do nich do potrzeb i możliwości tych pracowników.
- w przypadku gdy praca nie wymaga stałej pozycji stojącej pracodawca powinien zapewnić pracownikom możliwość siedzenia, lub opierania ciała na specjalnie przystosowanych krzesłach.
- Jeżeli praca wymaga pozycji stojącej lub przemieszczania się należy zapewnić możliwość odpoczynku w pozycji siedzącej w niedalekiej odległości od stanowiska. Wszystkie siedziska powinny być zgodne z Polskimi Normami.

Podczas procesu projektowania należy podzielić proces kształtowania stanowiska pracy w odpowiedni sposób, który umożliwi właściwą kolejność postępowania i gwarantuje szybki rezultat. Kolejność zadań obejmujących zagadnienia podczas projektowania stanowiska zgodny z normą [9] przebiega następująco:

- opracowanie i sprecyzowanie założeń,
- ustalenie populacji operatorów,
- analiza zadania roboczego,
- ustalenie i opracowanie niezbędnych danych ergonomicznych,
- ustalenie wymagań dotyczących szkolenia operatorów,
- wybór metody oceny i ocena wybranego rozwiązania,
- ocena rezultatów analizy z udziałem operatorów,
- ocena rezultatów badań doświadczalnych i wprowadzenie zmian.

Uwzględniając powyższe zasady podstawowym zadaniem jest dostosowanie stanowiska do charakteru wykonywanych czynności montażowych. Należy zatem określić w jaki sposób przebiega montaż i z jaką dokładnością należy wykonać połączenia elementów w produkt. Na podstawie tych danych można sprecyzować kształt i wyposażenie stanowiska i zgodnie z normą określić czynniki niezbędne do poprawnego kształtowania stanowiska montażu zgodnego z zasadami projektowania [10]. Aby zaprojektować ergonomiczne stanowisko montażu i uczynić go najbardziej optymalnym należy spełnić następujące warunki :

- obszar swobody pracownika musi być dostosowany do operatora obsługującego dane stanowisko. Przestrzeń powinna być dostosowana do wymiarów ciała operatora oraz do wykonywanych czynności.
- siedziska powinny być dostosowane do anatomicznych i fizjologicznych cech człowieka.
- powinna być zapewniona przestrzeń dla ruchów ciała, przede wszystkim dla głowy ramion, dłoni, nóg, stóp.
- elementy sterownicze powinny znajdować się w zasięgu funkcjonalnym.
- uchwyty i pokrętła powinny być dostosowane do biomechanicznych parametrów czynności ręki.

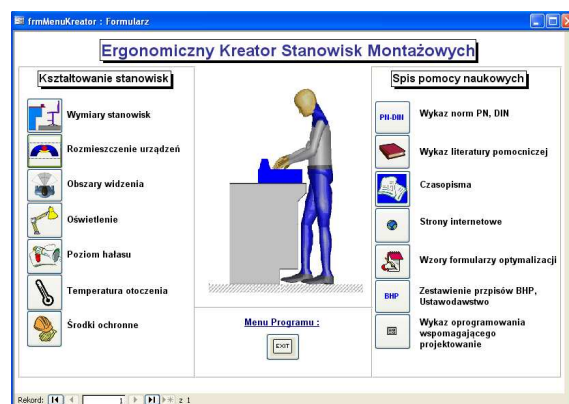
Odnosząc się do fizjologii postawy i ruchy ciała człowieka należy zwracać uwagę na to aby:

- praca była tak zaprojektowana aby unikać niepotrzebnego lub nadmiernego obciążenia mięśni, stawów, więzadeł oraz układów oddechowego i krążenia.
- wymagana od człowieka siła powinna się mieścić w granicach uwarunkowań fizjologii.
- postawa ciała, wywierana siła i ruch ciała powinny być ze sobą zharmonizowane.
- operator powinien mieć możliwość zmiany pozycji z siedzącej na stojącą; jeśli konieczny jest wybór tylko jednej z nich, wówczas należy preferować pozycję siedzącą, pozycja stojąca może być wymuszona przez proces pracy.

- przyjęta postawa i oparcia ciała powinny pozwalać na osiągnięcie optymalnego rozkładu sił wewnętrznych ciała, w celu zmniejszenia wysiłku.
- pozycja ciała podczas pracy nie powinna powodować zmęczenia pracą na skutek długotrwałego napięcia mięśni; powinna istnieć możliwość zmiany postawy lub chwilowego odciążenia ciała.
- wymagana siła przy pracy powinna odpowiadać fizycznym możliwościom operatora
- wymagane siły powinny być dostosowane do możliwości grup mięśni zaangażowanych przy wykonywanych czynnościach; jeżeli wymagana jest nadmierna siła do systemu pracy należy wprowadzić dodatkowe źródło energii w postaci manipulatora lub specjalnych docisków,
- należy unikać utrzymania przedłużonego statycznego napięcia tego samego mięśnia, prowadzącego do skurczy.
- należy ustalić równowagę między ruchami ciała, przy czym korzystniejszy jest ruch niż długotrwały bezruch.
- amplituda, siła, prędkość i rytm ruchów powinny być wzajemnie dostosowane.
- ruchy, w których wymagana jest duża dokładność nie powinny być związane z użyciem dużej siły mięśni, przy czym ciało powinno być w najbardziej stabilnym położeniu, np. w pozycji siedzącej.

MODUŁ PROGRAMOWY WSPOMAGANIA PRAC PROJEKTOWYCH DLA KONFIGURACJI ERGONOMICZNYCH STANOWISK MONTAŻOWYCH

Przedstawione powyżej uwarunkowania znalazły swoje odzwierciedlenie w treści bazy danych, reguł postępowania przy kształtowaniu stanowiska, normach i przepisach prawnych z tym związanych stanowiących moduł programowy. W swoim założeniu program w maksymalnie uproszczony sposób ułatwia proces ergonomicznego kształtowania warunków prac montażowych oraz gromadzi wykaz wszelkich informacji, czasopism, stron internetowych, przepisów BHP związanych z tematyką ergonomii z możliwością ich dalszej rozbudowy. Baza danych działa jak standardowe oprogramowanie środowiska Windows, a każdy element programu wyposażony jest w ilustracje ułatwiające zrozumienie analizowanej tematyki. Program otwiera menu główne a po uruchomieniu Kreatora Ergonomicznego Kształtowania Stanowisk Montażowych (Rys.4) za pomocą pokazanych przycisków uzyskuje się dostęp do poszczególnych elementów kreatora.



Rys.4. Menu główne programu KEKSM (Kreator Ergonomicznego Kształtowania Stanowisk Montażowych)

Lewa część arkusza „Kreatora...” rys.4. zawiera elementy programu związane z kształtowaniem stanowiska, natomiast prawa zawiera spis niezbędnych informacji i ich źródeł. Część „Kształtowanie stanowisk” składa się z podformularzy których zawartość przedstawiono na rys. 5-7. Otwarcie poszczególnych zawiera: informacje i zasady pochodzące z Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z roku 1997 (Form. ABC), formularz „Wymiary Stołów” zawiera metodologię kształtowania stanowisk dostosowaną do wymogów swobody pracownika na stanowisku „Obszary swobody na stanowiskach”, wymiarów stołów oraz Konfiguratora dla pracy w pozycji siedzącej, stojącej oraz mieszanej. Ostatni element składający się na menu „Wymiary stanowisk” nazywa się „Wymiary siedzisk” i podaje informacje na temat rodzajów i wymiarów siedzisk wykorzystywanych w montażu.

Nr	Opis	Wartość	Źródło
1	Wysokość zaleczonego oświetlenia nad stanowiskami pracy (holistami)	≥ 500 mm	Literatura [1]
2	Odległość umożliwiająca swobodę poruszania się między pracownikami (A)	≥ 1000 mm	DIN 33402-3
3	Odległość umożliwiająca swobodę poruszania się między pracownikami (B)	≥ 1000 mm	DIN 33402-3
4	Odległość linii transportowych między pracownikami (C)	≥ 1000 mm	DIN 33402-3

Rys. 5. Formularze wyboru „Wymiary stanowisk”

Nr	Opis	Wartość	Źródło
1	Wysokość zaleczonego oświetlenia nad stanowiskami pracy (holistami)	≥ 500 mm	Literatura [1]
2	Odległość umożliwiająca swobodę poruszania się między pracownikami (A)	≥ 1000 mm	DIN 33402-3
3	Odległość umożliwiająca swobodę poruszania się między pracownikami (B)	≥ 1000 mm	DIN 33402-3
4	Odległość linii transportowych między pracownikami (C)	≥ 1000 mm	DIN 33402-3

Rys6. Przykładowe wybrane Formularze stosowane w oprogramowaniu.

Kolejne elementy „Kreatora ...”, zawierają pozostałe niezbędne składniki dla optymalnego skonfigurowania pod względem ergonomicznym stanowiska montażowego. Należą do nich: rozmieszczenie urządzeń i określenie optymalnego zasięgu prac, zestawienie poprawnych obszarów i odległości widzenia oraz rozmieszczenia punktów i warunków oświetlenia, określenie dopuszczalnego poziomu hałasu, temperatury w pomieszczeniu oraz wykazu stosowanych oznaczeń BHP a także określenia normatywów czasowych dla metody MTM i RENAULT oraz zestawienie norm DIN, EN, ISO, PN, wykaz czasopism, adresy stron internetowych i wykaz ustaw i oprogramowań wspomagających projektowanie procesów produkcyjnych i montażu [10, 11, 12, 13].

PODSUMOWANIE

Projektowanie stanowiska montażowego z wykorzystaniem modułów programowych umożliwiających jego ocenę pod względem wymagań ergonomicznych, to w dzisiejszych warunkach funkcjonowania przemysłu obok rozwiązywania problemów organizacji pracy, możliwość zwiększenia efektywności i korzyści ekonomicznych. Szczególnie w warunkach montażu wymagających wykonywania powtarzających się czynności i występowania znacznego obciążenia fizycznego i psychicznego. Opracowany w ITMiA Politechniki Wrocławskiej moduł programowy pozwala na uwzględnianie wszelkich uwarunkowań związanych z tworzeniem strefy stanowiska montażu ręcznego na etapie tworzenia projektu.

LITERATURA

1. Lotter B. : Wirtschaftliche Montage. VDI Verlag, Hannover 1986.
2. Lehrstuhl für Ergonomie : Produktionsergonomie. Maschinenwesen Fakultät, München 2005.
3. Reiter R. : Methoden und Werkzeuge der Digitalen Fabrik. Maschinenwesen Fakultät, München 2006.
4. Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung, Koblenz : Handbuch der Ergonomie für Wehrtechnik und Beschaffung. Hanser Verlag, München 1989.
5. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 roku w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy będące załącznikiem do Obwieszczenia Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 28 sierpnia 2003 roku.
6. Monitoring the state of occupational safety and health in the European Union . European
7. Agency for Safety and Health at Work, Bilbao, 2000
8. Bezpieczeństwo pracy i ergonomia. Red. nauk. D. Koradecka. CIOP, Warszawa 1999
9. PN-91/N-08018 : 1991 Ergonomiczne zasady projektowania systemów pracy
10. PN EN 614-1 : 1999 Maszyny. Bezpieczeństwo. Ergonomiczne zasady projektowania. Część 2: Interakcje między projektowaniem maszyn a zadaniami roboczymi.
11. PN-81/N0810 :1981 Ergonomiczne zasady projektowania systemów pracy
12. DIN 33406 : 1988 Arbeitsplatzmaße im Produktionsbereich
13. DIN 33402 : 1978 Körpermaße des Menschen
14. DIN 68877 : 1981 Körpermaße des Menschen.

MODULE FOR ERGONOMIC ASSEMBLY STANDS CONFIGURATION USING IN DESIGNING

Assembly stand designing, using the program modules, which allow stands evaluation in relation to ergonomic requirements in today's industry operating conditions, gives the possibility of efficiency and economical benefits increasing. Especially in the assembly conditions requiring repeating activities where the considerable physical and psychical burden exists. The article presents the program module, which was worked out by ITMiA in Wrocław Technical University. The module lets consider every conditions related to stand area for manual assembly in the stage of project creation.

Michail CHEJFEC
Elena ZEWELEWA
Połocki Uniwersytet,
Nowopołock, Białoruś
Leonid AKUŁOWICZ
Agrarny Uniwersytet Techniczny
Mińsk, Białoruś

MECHATRONICZNE KOMPLEKSY TECHNOLOGICZNE DLA OBRÓBK I UMACNIANIA WYROBÓW

МЕХАТРОННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ И УПРОЧНЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ

ВВЕДЕНИЕ.

Интеграция электромеханики и микроэлектроники при компоновке машин привела к появлению комплексных интегрированных мехатронных модулей движения рабочих органов и узлов машин, а также создаваемого на их основе оборудования. Такая интеграция требует использования систем компьютерного управления движениями, деталями, инструментами, источниками энергии, транспортными и другими механизмами [1]. В результате составляющие части мехатронных комплексов не просто дополняют друг друга, но и объединяются таким образом, чтобы образованная система обладала качественно новыми свойствами [2].

Соединение технологических и транспортных составляющих комплекса в пространстве и совмещение их воздействий во времени обеспечивает производству компактность. Соединение узлов точной механики с электротехническими, электронными и компьютерными компонентами для проектирования и производства качественно новых комплексов машин с интеллектуальным управлением их функциями обеспечивают на современном этапе мехатронные производственные системы [3]. Совместная трансформация потоков вещества, энергии и информационных потоков обеспечивает производству интеллектуальность [4].

Основы рационального проектирования технологических комплексов (ТК) заложены научными школами И.И. Артоболевского, Л.Н. Кошкина, В.С. Корсакова, Б.Е. Патона, В.Н. Подураева и др. Элементы интегрированных мехатронных комплексов выбираются разработчиком на стадии функционального проектирования, а затем обеспечивается необходимая конструкторская и технологическая поддержка при производстве и эксплуатации комплекса. В этом радикальное отличие мехатронных систем от традиционных, когда пользователь самостоятельно объединяет в систему разнородные механические, электронные и информационно-управляющие устройства. Именно поэтому многие сложные технологические комплексы (построенные по методологии проектирования гибких производственных систем) показали на практике низкую надежность и невысокую технико-экономическую эффективность.

Методологической основой разработки мехатронных систем служат методы проектирования, заключающиеся в одновременном и взаимосвязанном синтезе всех компонентов системы [1]. В мехатронных системах для обеспечения высокой точности реализации сложных движений применяются методы интеллектуального управления. Данная группа методов опирается на новые идеи в теории управления, современные аппаратные и программные средства вычислительной техники и концепцию виртуального производства.

МЕХАТРОННЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

Функционально простую мехатронную систему ТК (рис. 1) можно подразделить на следующие составные части: исполнительные устройства (объект управления и приводы), информационные устройства (датчики внутреннего состояния системы и датчики состояния внешней среды) и систему управления (компьютер и микропроцессоры) [1, 3, 4].

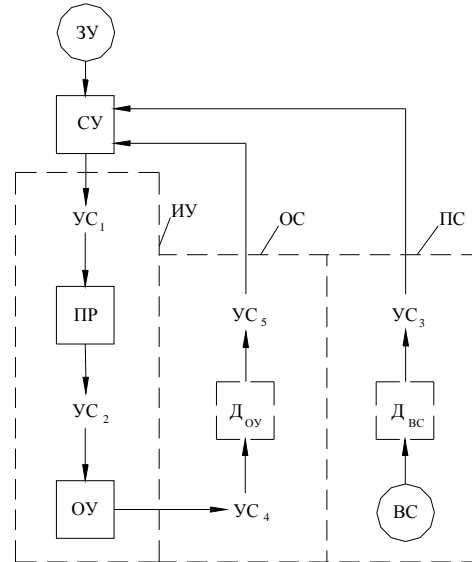


Рис. 1. Составные части мехатронной системы ТК: ИУ – исполнительные устройства; ОС – обратная связь; ПС – прямая связь; ЗУ – задание на управление; СУ – система управления; УС – устройство сопряжения; ПР – приводы; ОУ – объект управления; Д_{ОУ} – датчики состояния объекта управления; Д_{ВС} – датчики состояния внешней среды; ВС – внешняя среда

Rys. 1. Elementy składowe mechatronicznego systemu technologicznego kompleksu: IU – urządzenie wykonawcze, OS – sprzężenie zwrotne, PS – bezpośrednia więź, ZU – zadanie sterujące, SU – system sterowania, US – układ łączenia, PR – napędy, OU – obiekt sterowania, D_{OU} – czujniki stanu elektrosterowania, D_{WS} – czujniki otoczenia, WS – włączenie

Гибкость функционирования мехатронной системы в виртуальном производстве обеспечивается применением универсальных рабочих органов (инструментов и источников энергии), способных выполнять различные операции, или изменением модулей сменного инструмента, которые выбираются системой управления в соответствии с выполняемыми операциями, или управлением источниками энергии. В таких системах заранее определить число и вид необходимых исполнительных устройств и датчиков невозможно. Возникает необходимость решить две задачи:

- 1) обработать и систематизировать информацию, поступающую с датчиков;
- 2) обеспечить синхронизацию между этой информацией и движением исполнительных устройств.

Взаимодействие между этими частями, реализующее прямые и обратные связи в системе, осуществляется через устройство сопряжения (интерфейс).

Система управления включает аппаратные средства и программное обеспечение, которое управляет согласованной работой аппаратных средств и обеспечивает синхронизацию процессов сбора и обработки данных, поступающих от информационных устройств, с процессами, управляющими исполнительными устройствами.

Обобщенная схема производственного ТК (рис. 2) должна содержать все необходимые составляющие мехатронной системы: объекты управления; приводы; датчики; управляющие устройства, сопряженные между собой; систему программного обеспечения.

Важную роль в обеспечении многофункциональной работы мехатронной системы играют алгоритмические и программные средства. В результате структурная схема любого гибкого производственного комплекса должна иметь рассмотренные элементы, чтобы обеспечить ему длительное время устойчивой работы в автономном режиме, используя минимальное количество управляющих воздействий от пространственно удаленных подразделений виртуального предприятия.

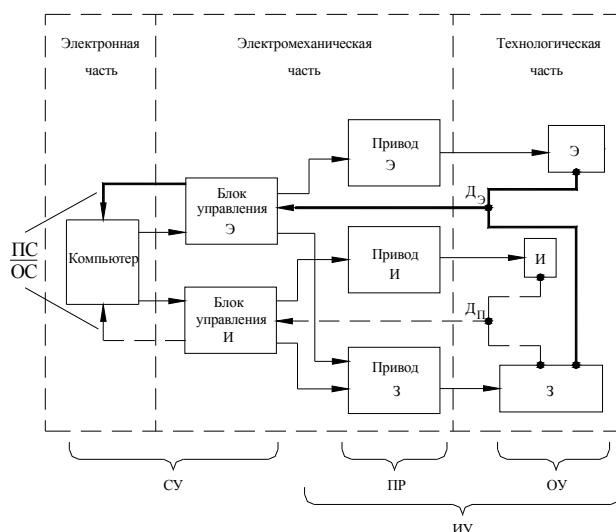


Рис. 2. Структурная схема мехатронного комплекса: З – заготовка; И – инструмент; Э – концентрированный источник энергии; Дп – датчик перемещений; Дэ – датчик интенсивности потока энергии; СУ – система управления; ПР – приводы; ОУ – объект управления; ИУ – исполнительные устройства; ПС – прямая связь; ОС – обратная связь

Rys. 2. Schemat strukturalny mechatronicznego kompleksu: Z – półwyrob, I – narzędzie, E – źródło energii, D_p – czujnik przemieszczeń, D_e czujnik strumienia energii, SU – system sterowania, PR – napędy, DU – obiekt sterowania, IU – układy wykonawcze, PS – bezpośrednia więź, DS. – sprzężenie zwrotne

Анализ организационно-технических мероприятий по обеспечению эффективности гибкого производства позволил определить основные этапы проектирования мехатронных технологических комплексов высокоэффективной обработки изделий [14]:

- 1) выбор источников энергии для интенсификации технологических процессов;
- 2) анализ реологии технологической среды, использующей потоки энергии;
- 3) выделение прямых и обратных связей в системе при технологических воздействиях;
- 4) исследование элементов технологической системы высокоэффективной обработки;

- 5) изучение взаимодействий элементов в рабочей зоне технологической системы;
- 6) структурный анализ открытой производственной системы высокоэффективной обработки;
- 7) структурный синтез технологических комплексов, использующих источники энергии;
- 8) параметрическая оптимизация установок, инструментов и средств оснащения технологического комплекса;
- 9) компоновка гибкого производственного модуля комплекса обработки;
- 10) синтез мехатронной системы высокоэффективной комбинированной обработки.

МЕХАТРОННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ.

Рассмотрим структуру гибкого производственного комплекса (ГПК) комбинированной электромагнитной и термомеханической обработки (КЭТО) изделий.

В соответствии с используемыми электромагнитными и термомеханическими потоками [4] ГПК конструктивно подразделяется на две структурные составляющие: электрическую и механическую части (рис. 3).

Сопряжения блоков электрической части с узлами механической части, управляющими обрабатываемой деталью (1), держателем с инструментом (2), бункерным дозирующим и транспортирующим устройством (3), полюсным наконечником электромагнита (4) показаны на структурной схеме ГПК комбинированной электромагнитной и термомеханической обработки (см. рис. 3). На схеме показаны места установки датчиков величин усилий обработки (5) и рабочего зазора (6), отмечено их соединение с ЭВМ через блоки автоматического регулирования (III, VII) или микропроцессоры.

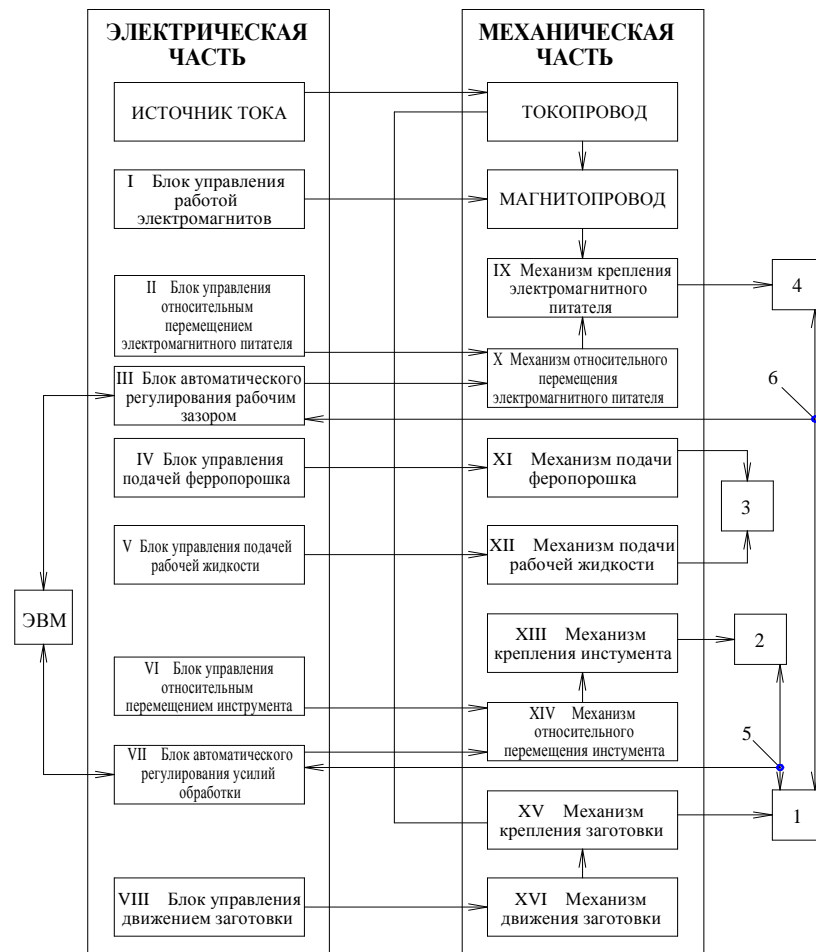


Рис. 3. Обобщенная структурная схема ГПК: 1 – обрабатываемая деталь; 2 – инструмент с держателем; 3 – бункерное дозирующее и транспортирующее устройство; 4 – полюсный наконечник электромагнита; 5 – датчик величины усилий обработки; 6 – датчик величины разрядного промежутка

Rys. 3. Uogólniony schemat strukturalny elastycznego systemu produkcyjnego: 1 – obrabiana część, narzędzie z oprawką, 3 – podajnik wibracyjny, 4 – dodatni elektromagnes, 5 – czujnik, oporu obróbkowego, 6 – czujnik szczeliny rozładowania

Основные узлы гибкого производственного модуля КЭТО соответствуют выделенным блокам:

- 1) механизм крепления и движения заготовки;
- 2) механизм крепления и относительного перемещения инструмента;
- 3) механизм подачи ферропорошка и рабочей жидкости;
- 4) механизм крепления и относительного перемещения электромагнитного питателя;

5) источник постоянного тока.

Структурная схема содержит все необходимые и сопряженные между собой составляющие мехатронной системы: объекты управления (1 – 4) и приводы (IX – XVI); датчики (5, 6); управляющие устройства (I – VII). Так как, структурная схема ГПК комбинированной электромагнитной и термомеханической обработки имеет все рассмотренные элементы, то это позволяет комплексу длительное время устойчиво работать в автоматическом режиме [4].

Технологический комплекс для термомеханической обработки в электромагнитном поле использует термомеханические и электромагнитные потоки вещества и энергии, так как процессы формирования поверхностей деталей носят в основном термомеханический характер, а электромагнитные потоки вследствие простоты их формирования и удобства в управлении наиболее технологичны. Одновременное применение при обработке нескольких потоков энергии, передаваемых в рабочую зону как технологической средой, так и инструментом, резко повышает производительность технологических операций [4].

Однако совместное использование нескольких потоков создает технологические ограничения по устойчивости комбинированных процессов. Поэтому принципиально новые ГПК для термомеханической обработки в электромагнитном поле в настоящее время целесообразно создавать на основе использования процессов самоорганизации в технологических системах.

Схема установки комбинированной обработки в электромагнитном поле приведена на рисунке 4.

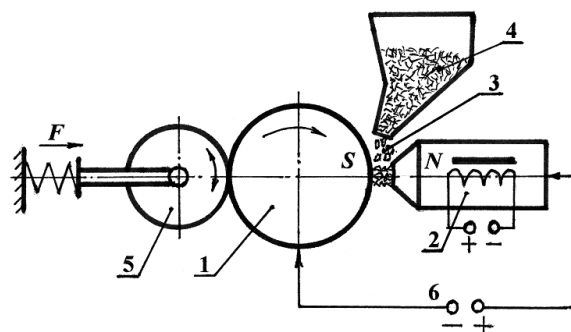


Рис. 4. Принципиальная схема комбинированных способов обработки в электромагнитном поле: 1 – заготовка; 2 – электромагнит; 3 – ферромагнитный порошок; 4 – бункер-дозатор; 5 – абразивный круг или деформирующий ролик; 6 – источник разрядного тока

Rys. 4. Schemat złożonych sposobów obróbki w polu elektromagnetycznym.: 1 – półwyrob, 2 - elektromagnes, 3 – proszek ferrytowy, 4 – zasobnik podający, 5 – ściernica lub rolka deformująca, 6 – źródło prądu rozładowania

ПРОЦЕССЫ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

Рассмотрим гамму технологических операций: нанесение покрытий, термообработку, деформирование и абразивную обработку поверхностных слоев, которые должны реализовываться ГПК при термомеханической обработке в электромагнитном поле [3].

Для нанесения поверхностного слоя используется метод электромагнитной наплавки. Процессами формирования поверхности при наплавке управляют электромагнитные потоки, которые помимо фиксации частиц ферропорошка обеспечивают интенсивное тепловыделение в

местах их контакта с деталью и, изменяя электросопротивление в рабочей зоне, регулируют сплошность покрытия и стабилизируют его толщину.

Для термообработки поверхностного слоя используется энергия электродугового разряда, что позволяет легировать поверхностный слой основы как элементами материала порошка, так и элементами присадок в транспортирующей жидкости. Управлять глубиной и степенью упрочнения поверхностного слоя в процессах термообработки и легирования позволяют главным образом электромагнитные потоки в рабочей зоне.

Для деформационного упрочнения поверхностных слоев используются накатники. При поверхностном пластическом деформировании шариком дополнительные степени свободы позволяют ему в результате взаимодействия с обрабатываемой поверхностью помимо качения совершать вращение.

Нагрев поверхностного слоя тормозит вращение и уменьшает длину траектории шарика, что приводит к снижению интенсивности пластической деформации. Таким образом, управлять процессом деформирования позволяет термическое воздействие и дополнительное вращение шарика.

Обработка вязких и пластичных материалов абразивным кругом приводит к засаливанию, что препятствует его самозатачиванию. Управлять процессом обработки в этом случае позволяют электромагнитные потоки, когда съем металла осуществляется незакрепленными зернами абразивного порошка с ферромагнитным покрытием, подаваемыми СОЖ в рабочий зазор и подвергаемыми воздействию постоянного магнитного поля.

Результаты исследования процессов нанесения, термообработки, деформирования и полирования поверхностных слоев позволили сделать вывод о том, что между рассматриваемыми процессами термомеханической обработки в электромагнитном поле существует взаимосвязь по общности свойств технологических решений. Это позволяет, используя синергетический подход, совместить технологические процессы термомеханической обработки в электромагнитном поле в едином технологическом комплексе. Создание условий для использования явлений самоорганизации совмещаемых процессов обеспечивает стабилизацию их параметров, что позволяет технологическому оборудованию длительное время устойчиво работать в автоматическом режиме. Это указывает на целесообразность проектирования гибких производственных комплексов термомеханической обработки в электромагнитном поле [4].

ВЫВОДЫ.

Таким образом, на основании проведенных исследований разработана методология оптимизационного синтеза технологических комплексов высокоэффективной обработки изделий, включающая: анализ методов обработки; структурный синтез технологических комплексов; параметрическую оптимизацию производственных комплексов.

Методология использует структурную и параметрическую избыточность в технологической системе; применяет адаптацию обрабатывающих и обслуживающих подсистем; объединяет материальное и информационное обеспечение технологических комплексов.

При проектировании технологических комплексов высокоэффективной обработки изделий предложено ограничивать структурную и параметрическую избыточность обрабатываемой системы, обеспечивая самоорганизацию и самонастройку функциональных подсистем комплекса на основе пространственной и временной концентрации технологических операций и транспортных переходов.

ЛИТЕРАТУРА

- 1) Мехатроника / Т. Исии [и др.]; пер. с яп. С.Л. Масленникова; под ред. В.В. Василькова. – М.: Мир, 1988. – 314 с.
- 2) Сироткин, О. Технологический облик России на рубеже XXI века / О. Сироткин // Экономист. – 1998. – № 4. – С. 3 – 9.
- 3) Ящерицын, П.И. Основы проектирования технологических комплексов в машиностроении / П.И. Ящерицын, Л.М. Акулович, М.Л. Хейфец. – Минск.: Технопринт, 2006. – 248 с.
- 4) Интеллектуальное производство: состояние и перспективы развития /Л.М. Акулович [и др.]; под общ. ред. М.Л. Хейфеца и Б.П. Чемисова. – Новополюцк: ПГУ, 2002. – 268 с.

**MECHATRONIC TECHNOLOGICAL COMPLEXES
FOR PROCESSING AND HARDENING OF PRODUCTS**

The methodology of optimising synthesis of technological complexes of highly effective processing of products is offered. Application of flexible industrial complexes for increase of productivity thanks to highly effective methods of processing is recommended; manufacture automation, both with technological, and with a subject principle of the organisation; to manufacture construction on principles of self-organising of technological processes.

Leonid AKUŁOWICZ

Agrarny Uniwersytet Techniczny

Mińsk, Białoruś

Aleksandr SADIUKOWICZ

Zakład „POLIMIR”

Nowopołock, Białoruś

Elena ZEWELEWA

Michail CHEJFEC

Połocki Uniwersytet

Nowopołock, Białoruś

STEROWANIE W MECHATRONICZNYCH ELEKTRONICZNYCH KOMPLEKSACH ZŁOŻONĄ OBRÓBKĄ W POLU ELEKTROMAGNETYCZNYM

УПРАВЛЕНИЕ В МЕХАТРОННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

ВВЕДЕНИЕ.

Мехатроника – область науки и техники, посвященная созданию и эксплуатации машин и систем с компьютерным управлением движением, которая базируется на знаниях механики, электроники и микропроцессорной техники, информатики и компьютерного управления движением машин и агрегатов [1].

В промышленности мехатронными системами являются все современные роботы, станки и измерительные комплексы. Они состоят из нескольких приводов, каждый из которых, в свою очередь, является мехатронной системой. Такие системы позволяют исключить ряд блоков и узлов конструкции, уменьшить его массогабаритные показатели и повысить надежность комплекса [2].

Мехатронные системы включают механическую, электромеханическую, электронную и управляющую (использующую компьютеры и микропроцессоры) части [3]. В нее входят: датчики состояния как внешней среды, так и самой системы управления; источники энергии; исполнительные механизмы; усилители; вычислительные элементы (компьютеры и микропроцессоры). Мехатронная система представляет собой единый комплекс электромеханических и электронных элементов и средств вычислительной техники, между которыми осуществляется непрерывный обмен энергией и информацией. Поэтому при проектировании комплексов следует учитывать динамику протекающих процессов, обеспечивая их устойчивость и требуемое качество, что достигается методами теории автоматического управления [4].

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ.

Технологический комплекс для термомеханической обработки в электромагнитном поле использует термомеханические и электромагнитные потоки вещества и энергии, так как процессы формирования поверхностей деталей носят в основном термомеханический характер, а электромагнитные потоки вследствие простоты их формирования и удобства в управлении наиболее технологичны. Одновременное применение при обработке нескольких потоков энергии, передаваемых в рабочую зону как технологической средой, так и инструментом, резко повышает производительность технологических операций [4].

Однако совместное использование нескольких потоков создает технологические ограничения по устойчивости комбинированных процессов. Поэтому принципиально новые технологические комплексы для термомеханической обработки в электромагнитном поле в настоящее время целесообразно создавать на основе использования процессов самоорганизации в технологических системах.

Рассмотрим гамму технологических операций: нанесение покрытий, термообработку, деформирование и абразивную обработку поверхностных слоев, которые должны реализовываться комплексом при термомеханической обработке в электромагнитном поле [3].

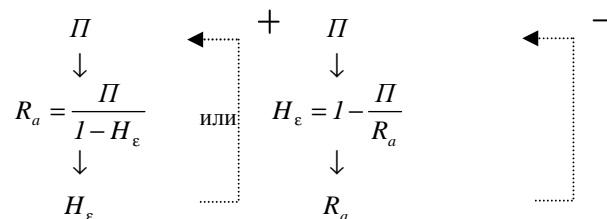
Анализ процессов нанесения покрытий и обработки в электромагнитном поле позволил определить пути управления технологической системой, обеспечивающие повышение производительности и качества поверхности. Термодинамические неустойчивости, возникающие при наплавке и деформировании поверхности, изменяющие структуры наплавленных слоев и снижающие твердость H_ϵ покрытия, уменьшаются посредством регулирования силы разрядного тока I , величины магнитной индукции B и усилия деформирования P . Это позволяет повышать устойчивость технологической системы и снижать шероховатость при формировании термдеформационных структур в поверхностном слое.

При нанесении покрытия и магнитно-абразивной обработке образование термодинамически неустойчивых структур определяется параметрами электромагнитного поля в рабочей зоне. Напряженное состояние σ_f и σ_m порошковой среды зависит главным образом от магнитной индукции B и определяется силой тока I при электродуговых разрядах. Регулирование параметров электромагнитного поля B и I , управляющих движениями, фиксацией и плавлением порошка, изменяет электропроводимость порошковой среды. Это является одним из путей повышения устойчивости технологической системы в процессах, использующих энергию электромагнитного поля, и стабилизации параметров качества покрытия.

При формировании поверхности свободным абразивом или накатным инструментом с ростом усилия деформирования P увеличивается твердость HRC обрабатываемой поверхности, вследствие этого возрастают скорости дополнительных перемещений инструмента. Нагрев обеспечивает повышение степени деформации, но снижает скорости дополнительных перемещений, что приводит к увеличению отклонений микрорельефа поверхности R_a . Совместные согласованные воздействия на материал нагрева и дополнительных перемещений повышают через обратную связь устойчивость технологической системы, в результате чего формируется поверхностный слой максимальной твердости H_ϵ и минимальной шероховатости R_a .

Организация обратной связи в технологической системе через дополнительные перемещения частиц порошка и формообразующих инструментов, а также посредством воздействий потоками энергии позволяет управлять устойчивостью термомеханических процессов в электромагнитном поле.

В результате проведенных исследований в технологической системе установлены обратные связи, характеризующие производительность обработки Π : положительная при формировании поверхности или отрицательная при упрочнении поверхностного слоя:



При использовании положительной обратной связи дополнительные перемещения частиц порошка или инструмента, подавляя рассеяние потоков энергии, создают упрочняющие структуры в поверхностном слое и повышают производительность обработки.

При использовании отрицательной обратной связи дополнительные воздействия потоками энергии, формируя упрочняющие структуры, не допускают развития неустойчивостей процесса образования рельефа поверхности и повышают качество обработки при снижении ее производительности.

Организация обратных связей в технологической системе создает условия для самоорганизации процессов формирования поверхности и позволяет управлять устойчивостью процессов упрочнения и обработки в электромагнитном поле через дополнительные перемещения частиц порошка и формообразующих инструментов, а также посредством воздействий потоками энергии и позволяет управлять устойчивостью процессов упрочнения и обработки в электромагнитном поле

УПРАВЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТЬЮ ПРОЦЕССОВ УПРОЧНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ.

Для обеспечения устойчивости нестационарных технологических процессов, таких как электромагнитная наплавка и магнитно-абразивная обработка, разработана схема управления (рис. 1), основанная на поддержании заданного уровня устойчиво протекающих диссипативных процессов и на использовании явлений их самоорганизации.

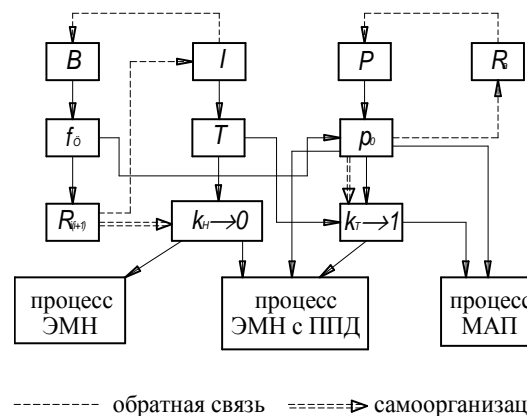


Рис. 1. Функциональная схема управления устойчивостью процессов упрочнения и обработки в электромагнитном поле: ЭМН – электромагнитная наплавка; ППД – поверхностное пластическое деформирование; МАП – магнитно-абразивное полирование; f_0 – усилие прижима порошка к поверхности детали; $R_{i(i+1)}$ – контактное сопротивление частиц порошка в электроде-цепочке; θ – температура; p_0 – давление; $k_{\theta \rightarrow 0}$ – коэффициент распределения энергии; $k_{\theta \rightarrow 1}$ – коэффициент трения скольжения; B – магнитная индукция; I – разрядный ток; P – усилие деформирования

Rys. 1. Funkcjonalny schemat sterowania stabilnością procesów umacniania i obróbki w polu elektromagnetycznym: EMN – elektromagnetyczne napawanie, PPD – nagniatanie, MAP – polerowanie magnetyczno – ściernie, f_c – siła docisku proszku do powierzchni, R_i – kontaktowa oporność proszku w elektrodzie – łańcuszku, θ – temperatura, p_0 – ciśnienie, k_n – współczynnik rozkładu energii, k_t – współczynnik tarcia poślizgowego, B – indukcja magnetyczna, J – prąd rozładowania, P – siła deformowania

Управлять процессами термодиформационного упрочнения поверхности позволяют тепловое воздействие и дополнительные степени свободы деформирующего инструмента, а при магнитно-

абразивной обработке – потоки магнитной энергии, когда сьем металла осуществляется незакрепленными частицами абразивного порошка [3, 4].

В соответствии с протекающими в рабочей зоне процессами движения материальных потоков термодинамические неустойчивости, возникающие при наплавке и деформировании поверхности, снижаются посредством управления величиной магнитной индукции (B) и стабилизацией силы тока (I) электрических разрядов, определяющего температуру в зоне упрочнения, а также регулированием усилия деформирования (P), создающего напряжения в поверхностном слое.

При электромагнитной наплавке с поверхностным пластическим деформированием наиболее сильное влияние на геометрические (шероховатость Ra), физико-механические (микротвердость $H\mu$) и эксплуатационные (относительная износостойкость ε_0) параметры качества поверхности оказывают сила тока (I) электрических разрядов и усилие деформирования (P) инструментом.

Термодинамические неустойчивости, возникающие в процессах термомеханического упрочнения и восстановления деталей в электромагнитном поле при наплавке и деформировании поверхности и изменяющие структуру наплавленных слоев, их микротвердость, геометрические показатели, уменьшаются посредством регулирования величины магнитной индукции (B) и стабилизации параметров I и P .

Современным направлением повышения устойчивости технологических систем является оснащение их средствами адаптации. Управление процессами базируется на поддержании заданного уровня устойчиво протекающих диссипативных процессов и на использовании явлений их самоорганизации [3]. Для технологических процессов термомеханического упрочнения и восстановления такое решение позволяет стабилизировать температурные и силовые параметры, т.е. осуществлять управление термическими и механическими воздействиями. В качестве управляемых технологических параметров приняты величина тока I , определяющая тепловое состояние зоны упрочнения, и усилие пластического деформирования P , определяющее напряженное состояние поверхностного слоя [4].

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ.

По результатам исследований для процесса упрочнения в электромагнитном поле разработаны методология управления нестационарными технологическими процессами с использованием системы адаптивного управления величиной магнитной индукции и усилием деформирования [4].

Применение для контроля силы тока измерительных систем с использованием электромагнитных датчиков затруднено тем, что неустойчивость процессов в электрической дуге создает мощные электромагнитные помехи, дополняющиеся наличием паров металла, тепловым и световым излучениями. Поэтому схема адаптивного управления (рис. 2,а) использует в качестве датчика параметры электрической дуги, сигнал от которой поступает в блок сравнения (БС), сравнивается с сигналом от блока расчета (БР). Разность этих значений преобразуется усилителями напряжения (УН) и тока (УТ) и обрабатывается оконечным каскадом (ОК), далее интегрированное значение тока выдается на преобразователь напряжения (ПН) в обмотках электромагнитной системы. При этом ОК обеспечивает заданный уровень мощности, сравнивает текущее состояние с предыдущим, не реагируя на импульсный характер тока электрического разряда. При коротких замыканиях система защиты (тепловой элемент (ТЭ) – адаптер (А) – КЛЮЧ) отключает внешнее магнитное поле, и процесс наплавки прерывается до устранения короткого замыкания. Совмещение точки измерения непосредственно с зоной термического воздействия повышает точность и надежность системы управления.

Система автоматического управления усилием деформирования P (рис. 2,б) состоит из датчика положения (ДП), блока задания положения (ЗП), контроллера с аналого-цифровым (АЦП) и цифро-аналоговым (ЦАП) преобразователями, пропорционально – интегрально – дифференциального регулятора (ПИД), усилителя мощности (УМ) и реверсивного шагового двигателя (РШД).

При управлении производственными процессами широко используется пропорционально – интегрально – дифференциальный закон регулирования [4]. Аналоговая форма алгоритма имеет вид

$$y(t) = kx(t) + \frac{k}{T_I} \int_0^t x(t)dt + kT_D \frac{dx}{dt}, \quad x(t) = u(t) - c(t),$$

где $u(t)$ – управляющее воздействие, подаваемое с регулятора на объект управления; $c(t)$ – требуемый выходной сигнал объекта; k – коэффициент усиления; T_I – постоянная времени интегрального регулирования; T_D – постоянная времени дифференциального регулирования.

Используя в уравнении упрощенные выражения

$$\frac{dx(t)}{dt} \approx \frac{x_n - x_{n-1}}{\Delta t};$$

$$\int_0^t x(t)dt \approx \int_0^{t-\Delta t} x(t)dt + \frac{x_n + x_{n-1}}{2} \Delta t$$

$$\text{и соотношение } \int_0^{t-\Delta t} x(t)dt = \frac{T_I}{k} \left[y_{n-1} - kx_{n-1} - kT_D \frac{x_{n-1} - x_{n-2}}{\Delta t} \right],$$

получаем пропорционально – интегрально – дифференциальный закон регулирования в разностной форме:

$$y_n = y_{n-1} - k_1 x_n - k_2 x_{n-1} + k_3 x_{n-2};$$

$$e \quad k_1 = k \left(1 + \frac{\Delta t}{2T_I} + \frac{T_D}{\Delta t} \right); \quad k_2 = k \left(1 - \frac{\Delta t}{2T_I} + \frac{2T_D}{\Delta t} \right); \quad k_3 = k \frac{T_D}{\Delta t}.$$

Ввод значения x_n осуществляется микропроцессором с аналого-цифрового преобразователя побайтно. После ввода каждого нового значения необходимо записать его в запоминающее устройство, вычислить управляющее воздействие y_n и выдать его на цифро-аналоговый преобразователь, переместить величину x_n на место x_{n-1} , а x_{n-1} на место x_{n-2} . Величина y_n помещается на место y_{n-1} . После этого микропроцессор готов к вводу нового значения x_n .

При вращении упрочняемой детали датчик положения, попадая на неровность, выдает аналоговый сигнал, амплитуда которого находится в пропорциональной зависимости от высоты неровности. Этот сигнал преобразуется в цифровую форму в виде разности значения текущего и предыдущего опроса, сравнивается с сигналом блока задания положения и поступает в ПИД-регулятор. Реакцией регулятора на входное воздействие является угол поворота вала шагового двигателя, преобразующийся через винтовую пару в линейное перемещение деформирующего элемента. При этом дифференциальная составляющая обеспечивает моментальную выборку всех люфтов и зазоров в системе привода, а интегральная – плавное изменение величины усилия поджима деформирующего элемента.

С помощью коэффициентов имеется возможность точно настраивать регулятор на текущий технологический процесс. Выходная величина с регулятора преобразуется в аналоговый вид. Усилитель тока преобразует изменение входного напряжения в силовой сигнал, достаточный для поворота вала шагового двигателя на рассчитанный угол.

Анализ термомеханических и электромагнитных процессов формирования поверхностного слоя с позиций явления технологического наследования показателей качества поверхности дал

возможность рекомендовать оптимальные режимы и рациональные маршруты операций процесса обработки изделий [3].

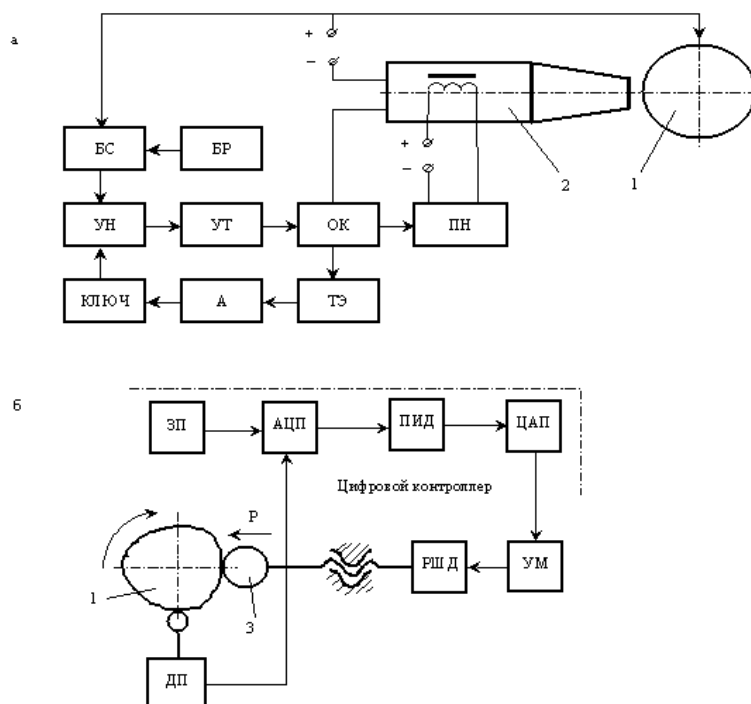


Рис. 2. Структурные схемы систем управления величиной разрядного тока I (а) и усилием деформирования (б): 1 – деталь, 2 – электромагнит, 3 – накатник

Rys. 2. Strukturalne schematy sterowania wielkością prądu rozładowania I (a) siłą deformowania (b): 1 – część, 2 – elektromagnes, 3 - nagniatak

Использование гибкого производственного комплекса комбинированной электромагнитной и термомеханической обработки для операций технологического процесса по упрочнению и восстановлению наружных поверхностей тел вращения типа валов, осей и втулок и др. на ремонтных предприятиях показало высокую эффективность комплексов в условиях мелкосерийного производства.

ВЫВОДЫ

В результате исследований разработана методология оптимизационного синтеза технологических комплексов высокоэффективной обработки изделий, использующая структурную и параметрическую избыточность в технологической системе; применяющая адаптацию обрабатывающих и обслуживающих подсистем; объединяющая материальное и информационное обеспечение технологических комплексов.

Таким образом, можно заключить, что изготовление и применение широкоуниверсальных технологических комплексов в условиях мелкосерийного производства позволяет: существенно

повысить производительность благодаря использованию высокоэффективных методов обработки; автоматизировать производство, как с технологическим, так и с предметным принципом организации; радикально изменить организацию производства за счет его высокой гибкости; построить производство на принципах самоорганизации технологических процессов.

ЛИТЕРАТУРА

- 1) Мехатроника / Т. Исии [и др.]; пер. с яп. С.Л. Масленникова; под ред. В.В. Василькова. – М.: Мир, 1988. – 314 с.
- 2) Сироткин, О. Технологический облик России на рубеже XXI века / О. Сироткин // Экономист. – 1998. – № 4. – С. 3 – 9.
- 3) Ящерицын, П.И. Основы проектирования технологических комплексов в машиностроении / П.И. Ящерицын, Л.М. Акулович, М.Л. Хейфец. – Минск.: Технопринт, 2006. – 248 с.
- 4) Интеллектуальное производство: состояние и перспективы развития /Л.М. Акулович [и др.]; под общ. ред. М.Л. Хейфеца и Б.П. Чемисова. – Новополоцк: ПГУ, 2002. – 268 с.

MANAGEMENT IN MECHATRONIC TECHNOLOGICAL COMPLEXES THE COMBINED PROCESSING IN THE ELECTROMAGNETIC FIELD

Features of use of technological complexes of the combined processing at the machine-building enterprises are considered. It is shown, those in the technological complexes combining processes of hardening and restoration with machining of details of cars, feedback of technological system provide self-organising of processes of formation of a surface and allow to operate their stability.

Andrzej ZBROWSKI

Instytut Technologii Eksploatacji – PIB
Radom, Polska

MODUŁOWA STRUKTURA MINIATUROWEGO TRIPODA LABORATORYJNEGO²

MODULAR STRUCTURE OF MINIATURE LABORATORY TRIPOD

Pierwsze mechanizmy o kinematyce równoległej stosowane były głównie jako ruchome platformy symulatorów lotniczych i helikopterowych [1]. Ostatnie lata to przede wszystkim próby wykorzystania kinematyki równoległej w konstrukcji precyzyjnych układów manipulacyjnych, w których człony napędowe poruszane są napędem obrotowym lub liniowym. Dotychczas bezpośredni napęd obrotowy jest stosowany tylko tam, gdzie człony ruchome charakteryzują się stałą długością. Napęd obrotowy pośredni jest wykorzystany dla rozwiązań ze stałą jak i ze zmienną długością członów napędowych [2,3]. Ze względu na konieczność zamiany ruchu obrotowego na postępowy charakteryzują się one złożoną strukturą, w której występują dodatkowe przekładnie np.: śrubowe lub zębatkowe [4]. Osobną grupę stanowią rozwiązania, wykorzystujące napędy liniowe, których człony napędowe o stałej lub zmiennej długości poruszane są bezpośrednio poprzez silnik liniowy lub elementy piezoelektryczne [5].

Oryginalny charakter rozwiązania przedstawionego problemu ma propozycja zastosowania bezpośredniego napędu obrotowego spełniającego rolę członu napędowego o zmiennej długości. W równoległym układzie kinematycznym typu tripod zastosowano mechanizm mimośrodowy do przemieszczania ruchomej platformy efektora. Zamiana ruchu obrotowego aktuatora na przestrzenny efektor realizowana jest w strukturalnie prostszym łańcuchu kinematycznym.

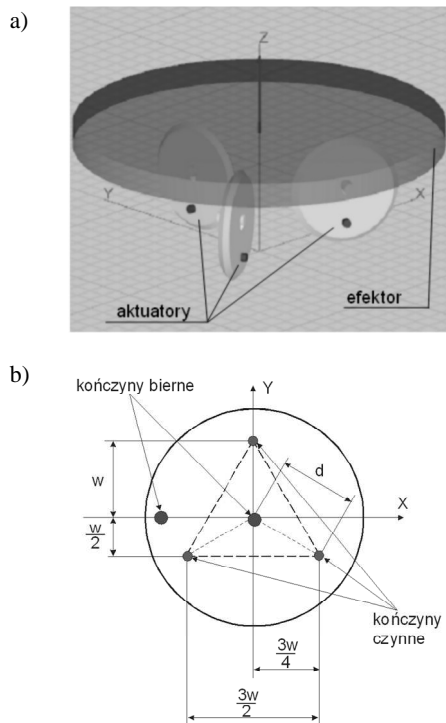
W artykule przedstawiono strukturę precyzyjnego równoległego manipulatora trójosiowego o funkcjonalności stolika przesuwno-wychylnego. Efekтором urządzenia jest platforma, dla której określone są trzy współrzędne położenia. Opracowano konstrukcję miniaturowego manipulatora o strukturalnie prostszym łańcuchu kinematycznym, charakterystycznym dla rozwiązań stosowanych w mechanice precyzyjnej [6,7]. Koncepcja układu pozycjonowania wykorzystuje kinematykę równoległą tripoda, w której efektor – ruchoma platforma manipulatora – posadowiony jest na trzech kończynach aktywnych – aktuatorach. Zastosowanie kinematyki równoległej umożliwiło modularyzację układu pozycjonowania. Parametryczny, modułarny mechanizm funkcjonalny o minimalnej ilości elementów łańcucha kinematycznego, zapewnia uzyskanie wysokiej rozdzielczości pozycjonowania. Kompaktowa struktura modułowa przyczynia się do zwiększenia dokładności pozycjonowania i nośności manipulatora oraz do zmniejszenia stosunku gabarytów i masy manipulatora do przestrzeni roboczej.

STRUKTURA KINEMATYCZNA

Podstawową zaletą kinematyki równoległej jest jednakowa struktura napędów, zintegrowanych w ramionach posuwowych. Opracowana konstrukcja manipulatora jest układem modułowym, typowym dla systemów o kinematyce równoległej. Zastosowano trzy jednakowe moduły kończyn czynnych rozmiesz-

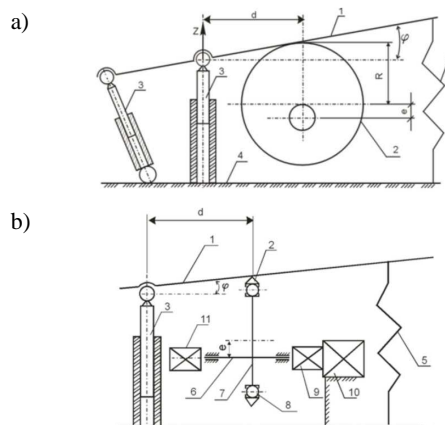
² Praca badawcza sfinansowana ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego, wykonana w ramach realizacji Programu Wieloletniego pn. „Doskonalenie systemów innowacyjności w produkcji i eksploatacji w latach 2004-2008”.

czonych pod płytą efektora (rys. 1). Kończyny zostały rozmieszczone w wierzchołkach trójkąta równobocznego. Nadmiarowe stopnie swobody w postaci obrotu wokół osi pionowej i translacji w płaszczyźnie XY redukują dwie dodatkowe kończyny bierna. Pierwsza kończyna bierna znajduje się w środku ciężkości trójkąta wytyczonego przez kończyny czynne, druga kończyna bierna znajduje się na obwodzie okręgu opisanego na trójkącie równobocznym.



Rys. 1. Rozmieszczenie kończyn tripoda: a) model wirtualny, b) model geometryczny

Poprzez wprowadzenie pary przegubowo-przesuwnej (kończyny bierna) efektor może wykonywać jeden ruch postępowy (do góry i do dołu) oraz realizować obroty wokół dwóch osi leżących w płaszczyźnie podstawy (rys.2).

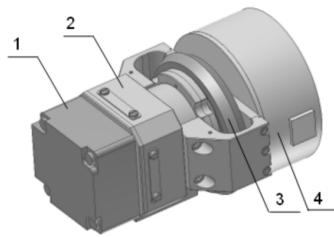


Rys. 2. Schemat kinematyczny mechanizmu manipulatora: 1- platforma robocza, 2- pierścień nożowy, 3- kończyny bierne, 4- podstawa, 5- sprężyna, 6- wał napędowy, 7- tarcza mimośrodowa, 8- łożysko toczne, 9- przekładnia falowa, 10- silnik krokowy, 11- absolutny enkoder obrotowy

Kończyna – aktuator oraz platforma manipulatora (efektor) osadzona w przegubach kulistych tworzą mechanizm wahaczowy z siłowym zamknięciem za pomocą sprężyn. Aktuator jest mechanizmem mimośrodowym, w którym zmiana długości ramienia mimośrodowego wpływa na zmianę wysokości kończyny. Zmiana długości ramienia mimośrodowego (zmiana długości kończyny) powodowana jego obrotem wywołuje pochylenie płyty stolika wokół przegubu kulistego o kąt φ oraz translację wzdłuż osi Z. W przedstawionym rozwiązaniu konstrukcja mechanizmu krzywkowego została zmodyfikowana tak, aby tarcie ślizgowe w parze krzywka - dźwignia zostało zastąpione, korzystniejszym w tym przypadku, tarcem tocznym.

MODUŁY MANIPULATORA

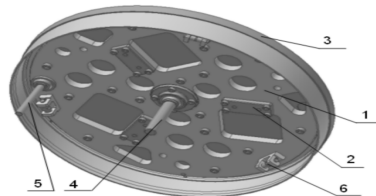
Struktura manipulatora składa się z trzech rodzajów modułów: aktuatora, podstawy i efektora. Moduł aktuatora agreguje elementy kończyny aktywnej. Wszystkie trzy kończyny aktywne reprezentowane są takim samym modułem. Moduł aktuatora (rys. 3) składa się z silnika krokowego napędzającego reducyjną przekładnię falową. Na osi przekładni znajduje się wał zdawczy z tarczą mimośrodową, na której osadzone jest łożysko kulkowe. Na zewnętrznym pierścieniu łożyska zamocowany jest pierścień nożowy, umożliwiający osadzenie płyty stolika (efektora) na kończynie. Za mimośrodem, na wale zdawczym reduktora, znajduje się enkoder absolutny do odczytu kąta obrotu wału zdawczego przekładni falowej. W konstrukcji aktuatorów zastosowano miniaturowe przekładnie falowe firmy Harmonic Drive. Napęd aktuatora stanowi miniaturowy silnik krokowy firmy Elra. Do realizacji sprzężenia zwrotnego wykorzystano programowalny absolutny enkoder obrotowy firmy U.S. Digital.



Rys.3. Wirtualny model modułu aktuatora: 1- silnik krokowy, 2- reduktor z przekładnią falową, 3- mimośród z pierścieniem nożowym, enkoder obrotowy

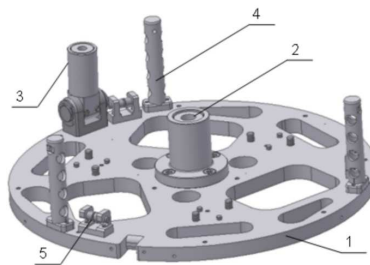
Moduł aktuatora jest rozwiązaniem kompaktowym przystosowanym do współpracy z określonym typoszeregiem przekładni falowych (zmiana redukcyjności) oraz silników krokowych (zmiana momentu obrotowego). Zakres pozycjonowania można definiować za pomocą wymiennych tarcz mimośrutowych o pożądanych wartościach mimośrodu.

Na kończynach osadzony jest moduł efektora (rys. 4). Zasadniczym elementem modułu jest ażurowa płyta nośna. W płycie za pomocą przegubów kulistych osadzone są wahliwe trzpienie kończyn biernych. Ponadto do płyty przymocowane są panewki oporowe kończyn aktywnych oraz uchwyty sprężyn zamykających mechanizm manipulatora. Na płycie osadzona jest platforma robocza pełniąca dodatkowo rolę osłony mechanizmów.



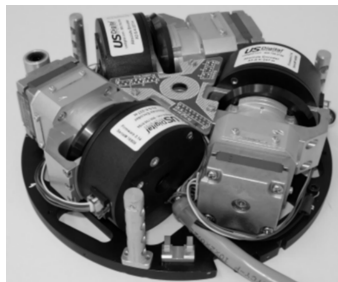
Rys.4. Wirtualny model modułu efektora: 1- płyta główna, 2- panewka oporowa, 3- platforma robocza, 4- trzpień kończyny biernej centralnej, 5- trzpień kończyny biernej bocznej, 6- uchwyt sprężyny

Moduł podstawy (rys. 5) konsoliduje moduły aktuatorów i efektora w jeden mechanizm funkcjonalny. W module podstawy do ażurowej płyty głównej mocowane są tuleje prowadzące kończyn biernych, uchwyty sprężyn i wsporniki osłony.



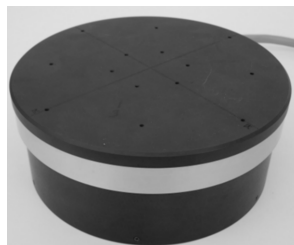
Rys.5. Wirtualny model modułu podstawy: 1- płyta główna, 2- tuleja kończyny biernej centralnej, 3- tuleja uchylna kończyny biernej bocznej, 4- uchwyty osłony, 5- uchwyt sprężyny

Moduł podstawy z osadzonymi aktuatorami kończyn czynnych oraz rozprowadzonym okablowaniem tworzą kompletny zespół napędowy (rys. 6).



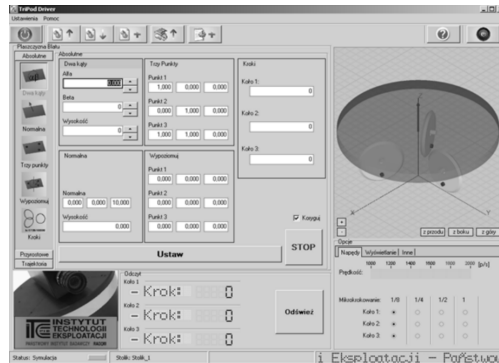
Rys.6. Zespół napędowy manipulatora

Moduł efektora po wprowadzeniu trzpieni kończyn biernych w tuleje prowadzące modułu postawy i zamocowaniu sprężyn naciągowych jest jednoznacznie osadzony na mimośrodkach aktuatorów. Cylindryczna osłona zewnątrz chroni mechanizm napędowy i nadaje urządzeniu zwarty, kompaktowy charakter (rys. 7).



Rys.7. Model fizyczny tripoda laboratoryjnego

Osobnym, wirtualnym modulem urządzenia jest specjalne oprogramowanie sterujące (rys. 8). Oprogramowanie umożliwia wielowariantowe zadawanie pozycji efektora, elastyczne modyfikowanie parametrów modelu matematycznego, sterowanie prędkością i uzyskiwaną dokładnością pozycjonowania, a także wizualizację procesu pozycjonowania. Oprogramowanie manipulatora umożliwia sterowanie efekto-rem w kinematyce odwrotnej. Kinematyka prosta jest wykorzystana do wizualizacji położenia efektora w oknie podglądu. Pozycja efektora może być zadawana absolutnie lub przyrostowo. Możliwy jest także wybór konturu trajektorii dla wektora normalnego płaszczyzny efektora. Oprogramowanie sterujące pracuje z zastosowaniem opracowanego dla manipulatora matematycznego modelu konstrukcji [8,9].

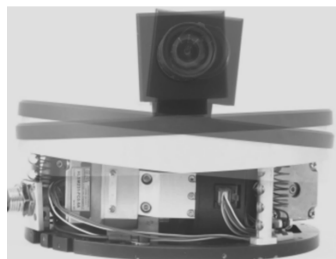


Rys. 8. Okno główne interfejsu operatora

Oprogramowanie zapewnia parametryzację modelu matematycznego według zadanych wielkości. Funkcja ta jest szczególnie użyteczna na etapie strojenia modelu podczas kalibracji, w celu uzyskania właściwej charakterystyki i dokładności pozycjonowania.

PARAMETRY EKSPLOATACYJNE

Możliwość wykorzystania opracowanego precyzyjnego manipulatora obejmuje działy nauki i techniki, w których wymagane jest dokładne pozycjonowanie obiektu np.: mikroskopowe układy obserwacji, systemy skanujące, systemy niwelacyjne, systemy żyroskopowe, systemy optyczne (rys.9).



Rys.9. Zakres pozycjonowania (widok bez osłon z kamerą zamocowano na platformie roboczej)

Podstawowe parametry eksploatacyjne manipulatora :

- zakres pozycjonowania w ruchu postępowym - 7 mm,
- zakres pozycjonowania w ruchu obrotowym - 8°,
- szybkość pozycjonowania w ruchu postępowym do 0,5 mm/s,
- szybkość pozycjonowania w ruchu obrotowym do 0,7 °/s,
- dokładność pozycjonowania w ruchu postępowym – 0,01 mm,
- dokładność pozycjonowania w ruchu obrotowym – 0,01°,
- powtarzalność pozycjonowania w ruchu postępowym - 1 μm,
- powtarzalność pozycjonowania w ruchu obrotowym – 0,002°,
- rozdzielczość - 0,25 μm,
- nośność manipulatora - 10 kg,

- ciężar manipulatora – 4,7 kg.
- wymiary gabarytowe – $\varnothing=203$ mm, $h=78$ mm.

PODSUMOWANIE

Podstawową zaletą kinematyki równoległej zastosowanej w konstrukcji manipulatora jest jednakowa struktura napędów, zintegrowanych w modułach kończyn czynnych. W efekcie uzyskano zwiększenie sztywności oraz zmniejszenie masy ruchomej. Zastosowana modularyzacja umożliwia rozwinięcie konstrukcji w typoszerzeg wyrobów charakteryzujących się zróżnicowanymi: zakresem pozycjonowania, dokładnością i rozdzielczością, obciążalnością oraz prędkością realizacji ruchów roboczych. Zastosowana parametryzacja modelu matematycznego umożliwia redukcję kosztów wytwarzania dzięki możliwości elastycznego doboru parametrów produktu (modelu matematycznego) w zależności od dokładności wykonania i montażu poszczególnych podzespołów. Dokładna kalibracja urządzenia realizowana na drodze pomiarów wymiarów rzeczywistych umożliwia stosowanie szerszego pola tolerancji wykonania poszczególnych części. Oryginalny charakter rozwiązania przejawia się w zastosowaniu mechanizmu mimośrodowego do przemieszczania platformy ruchomej w równoległym układzie kinematycznym. Bezpośrednie wykorzystanie napędu obrotowego poruszającego mimośród, w konstrukcji ramion posuwowych o zmiennej długości jest rozwiązaniem nowym i nie posiadającym dotychczas opracowanego modelu matematycznego i fizycznego. W prezentowanym rozwiązaniu zamiana ruchu obrotowego aktuatora na postępowy efektora realizowana jest w strukturalnie prostszym łańcuchu kinematycznym.

LITERATURA

1. Steward D.: A platform with six degrees of freedom. Proc. Institution of Mechanical Engineers, 180/1965 str. 371-386.
2. Oczko K., Weiss E.: Kinematyki równoległe w budowie obrabiarek, robotów i manipulatorów. Część I. Mechanik 5-6/2002, str. 323-333
3. Oczko K., Weiss E.: Kinematyki równoległe w budowie obrabiarek, robotów i manipulatorów. Część II. Mechanik 7/2002, str. 489-498
4. Szafarczyk M.: Stan obecny i możliwości kinematyki równoległej w obrabiarkach. Mechanik 4/2003, str. 184
5. Ham, H. H., Chen, I.-M.; Kinematics, Workspace And Static Analyses of Two DOF Flexure Parallel Mechanism. 7th Int Conf. Control, Automation, Robotics, Vision, Singapore, pp 968-973, 2002.
6. Zbrowski A.: Analiza kinematyczna modelu mechanizmu funkcjonalnego w precyzyjnym stoliku obrotowym. Problemy Eksploatacji 2005 nr 1, str. 61-72.
7. Zbrowski A.: Metoda kształtowania charakterystyki obrotu w mechatronicznym, precyzyjnym stoliku obrotowym. X Jubileuszowy Kongres Eksploatacji Urządzeń Technicznych. Stare Jabłonki, 6-9 września 2005. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji - PIB.
8. Zbrowski A.: Geometryczny model równoległego trzyosiowego manipulatora z nieliniową charakterystyką pozycjonowania. Problemy Eksploatacji 2008 nr 1, str. 35-42.
9. Zbrowski A., Zagroba K.: Kinematyka odwrotna tripoda z napędem mimośrodowym. Problemy Eksploatacji 2007 nr 4, str. 275-282.

MODULAR STRUCTURE OF MINIATURE LABORATORY TRIPOD

The article presents structure of precise parallel tri-axle manipulator with functionality of moving-inclining table. End effector of the device is a platform, for which three coordinates of position are defined. The concept of the positioning mechanism is based on parallel tripod kinematics where end effector –

the platform – is seated on three active limbs – actuators. The use of parallel kinematics allowed modular construction of positioning mechanism. The developed modular functional mechanism with minimal number of elements in kinematic chain ensures high positioning resolution. The concept of application of eccentric mechanism for platform positioning is an original idea in this solution.

Aleksander STREUBEL

Marek KURAN

Politechnika Wrocławska,
Wrocław, Polska

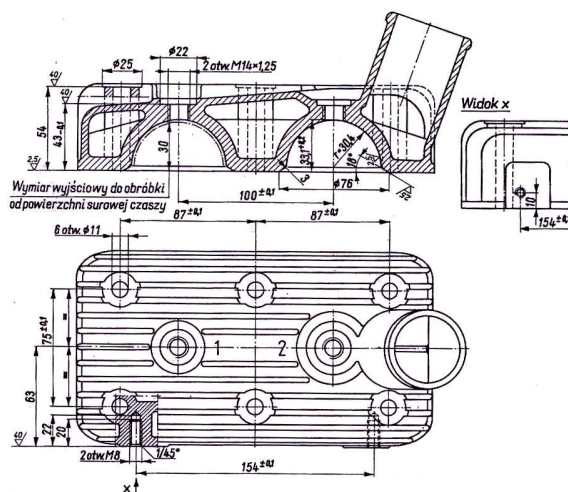
Marek UCHMAN

Jurgal,
Mikołów, Polska**PROCEDURA REGENERACJI GŁOWIC SILNIKA SPALINOWEGO****PROCEDURE FOR COMBUSTION ENGINE HEAD REGENERATION**

Otwarcie rynku importu używanych samochodów stworzyło nowe wymagania przed zakładami regenerującymi elementy silników spalinowych. Gwałtownie wzrosło zapotrzebowanie na usługi związane z naprawą takich elementów jak: wał korbowy, korbowody, tuleje cylindrowe, tłoki oraz głowice. Część z wymienionych elementów obecnie nie podlega naprawie tylko jest wymieniana na nowe (tzw. nadwymiarowe) np.: tłoki, mokre tuleje cylindrowe, pozostałe jednak wymagają regeneracji. Jedną z nich jest głowica silnika spalinowego, w której osadzone są gniazda zaworowe, prowadniki zaworowe, komory wstępne (w starszych silnikach diesla), panewki wałka rozrządu.

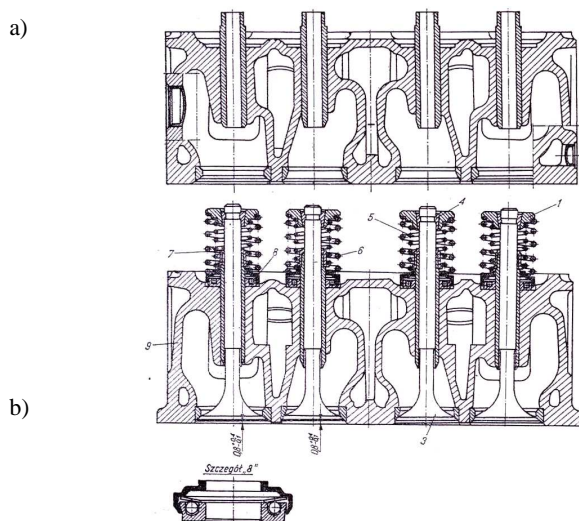
KONSTRUKCJA GŁOWIC SILNIKA SPALINOWEGO.

Konstrukcja głowicy jest bardzo złożona. Najprostsze występują w silnikach dwusuwowych chłodzonych powietrzem jak i chłodzone płynem. Tą ostatnią pokazuje rys. 1.



Rys.1 Głowica dwusuwowego silnika z zapłonem iskrowym.

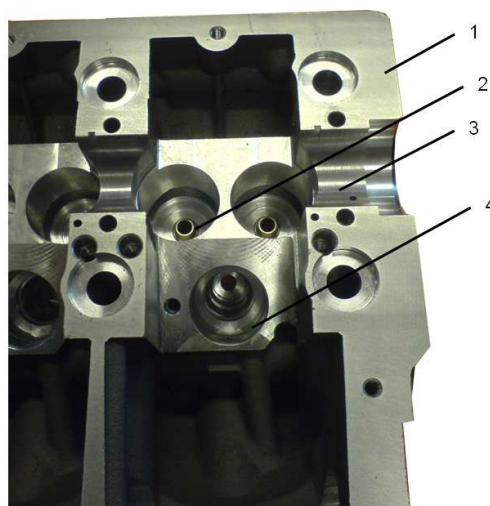
Bardziej złożona jest głowica do silnika czterosuwowego z zapłonem iskrowym. Tu konieczne są już przewodniki do zaworów jak gniazda zaworowe. Schemat głowicy z zamontowanym zaworem obrazuje rys. 2a, a bez zaworu rys. 2b.



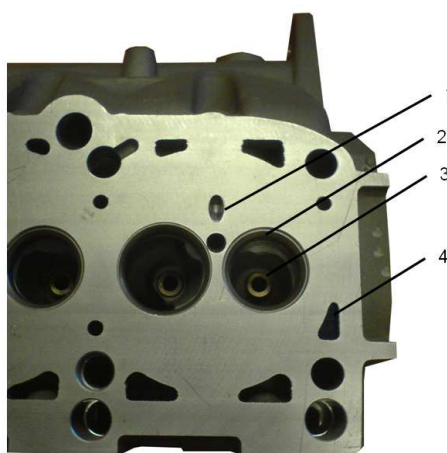
Rys.2 a) b) Segment głowicy cylindrów silnika czterosuwowego: a) przekrój podłużny głowicy, b) głowica z zaworami: 1 – miseczka, 2 – zawór dolotowy, 3 – zawór wylotowy, 4 – klin dwudzielny zaworu, 5 – sprężyna zaworu wewnętrzna, 6 – sprężyna zaworu zewnętrzna, 7 – uszczelniający trzonka zaworu, 8 – urządzenie obracające (Rotocap), 9 - głowica

Najbardziej technologicznie zaawansowane są głowice do silników czterosuwowych – wysokoprzężnych, gdzie dodatkowo osadzone są wtryskiwacze oraz świece żarowe. W starszych rozwiązaniach znajdują się dodatkowo komory wstępnego zapłonu.

Na rysunku 3a pokazano część głowicy widoczną od strony pokrywy, natomiast na rys. 3b od strony kadłuba silnika (gniazd zaworowych).



Rys.3 a Widok głowicy od strony pokrywy: 1 – głowica, 2 – prowadniki zaworowe, 3 – gniazdo panewki łożyska wałka rozrządu, 4 – komora wtryskiwacza



Rys.3 b Widok głowicy od strony bloku silnika: 1 – wylot komory wtryskiwacza, 2 – gniazda zaworowe, 3 – prowadniki zaworu, 4 – otwór układu chłodzenia silnika

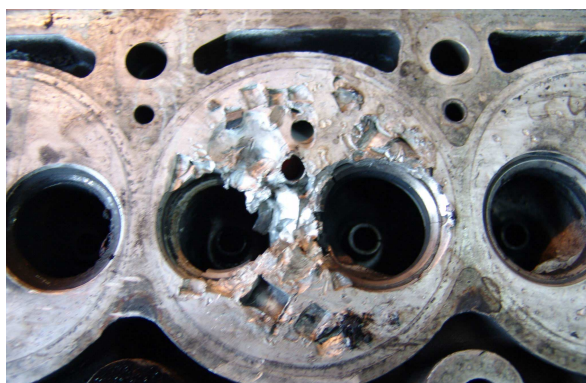
Z uwagi na złożony kształt głowicy może ona być jednolita tzn. jedna na całym silniku lub też segmentowa na 2 lub 3 cylindry. Głowice są najczęściej odlewane w formach piaskowych – żeliwo szare (ZL250) oraz w kokilach ze stopów aluminium (np. AK 7), ale mogą być również kute lub prasowane. Każda głowica badana jest na szczelność wodą o temperaturze 80 – 90° pod ciśnieniem 0,4 – 0,5 MPa C przez 4 minuty. Przy próbie wodnej odlew nie powinien wykazywać przecieków czy pocenia się. Prefabrykaty głowic pod-

legają obróbce cieplnej w celu uzyskania odpowiedniej struktury i własności mechanicznych a w szczególności równomiernej twardości, co jest szczególnie ważne dla głowic ze stopów AK, (gdzie powinna mieścić się w przedziale 72 – 101 HB).

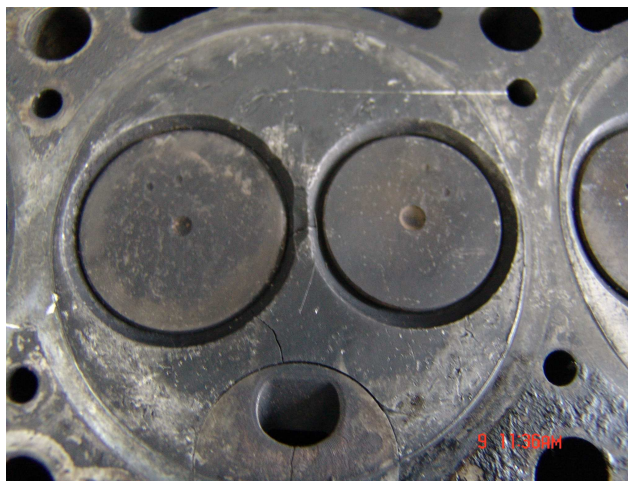
Należy mieć na uwadze to, że głowica jest w ciągłym kontakcie z gorącymi agresywnymi gazami spalinowymi i musi odprowadzić powstały strumień ciepła co naraża ją na duże niejednorodne odkształcenia cieplne. Każda głowica do silników czterosuwowych ma osadzone gniazda zaworowe wykonane ze specjalnego materiału, różne gatunki żeliwa stopowego jak i odpowiednie prowadniki zaworowe. Wymagania stawiane gniazdom zaworowym oraz ich wykonywanie omówiono w pracy [1], natomiast prowadnikom zaworowym w [2]. W silnikach Diesla starszej konstrukcji dodatkowo osadzona jest komora wstępna wtrysku paliwa.

USZKODZENIA I ZUŻYCIE GŁOWIC

Głowica silnika spalinowego podczas eksploatacji może nie nadawać się do dalszej pracy w wyniku uszkodzeń mechanicznych rys 4, które mają miejsce w chwili zerwania paska zębatego łączącego wał korbowy z wałem rozrządu. W skrajnych przypadkach zawory po kolizji z tłokiem najczęściej się krzywią i zakleszczają w prowadnikach, gniazda zaworów jak powierzchnia głowicy oraz łożysko wałka rozrządu ulegają deformacji, natomiast głowica pęka co obrazuje rys. 5.



Rys. 4. Uszkodzenie głowicy po zerwaniu paska rozrządu



Rys. 5. Pęknięcia głowicy

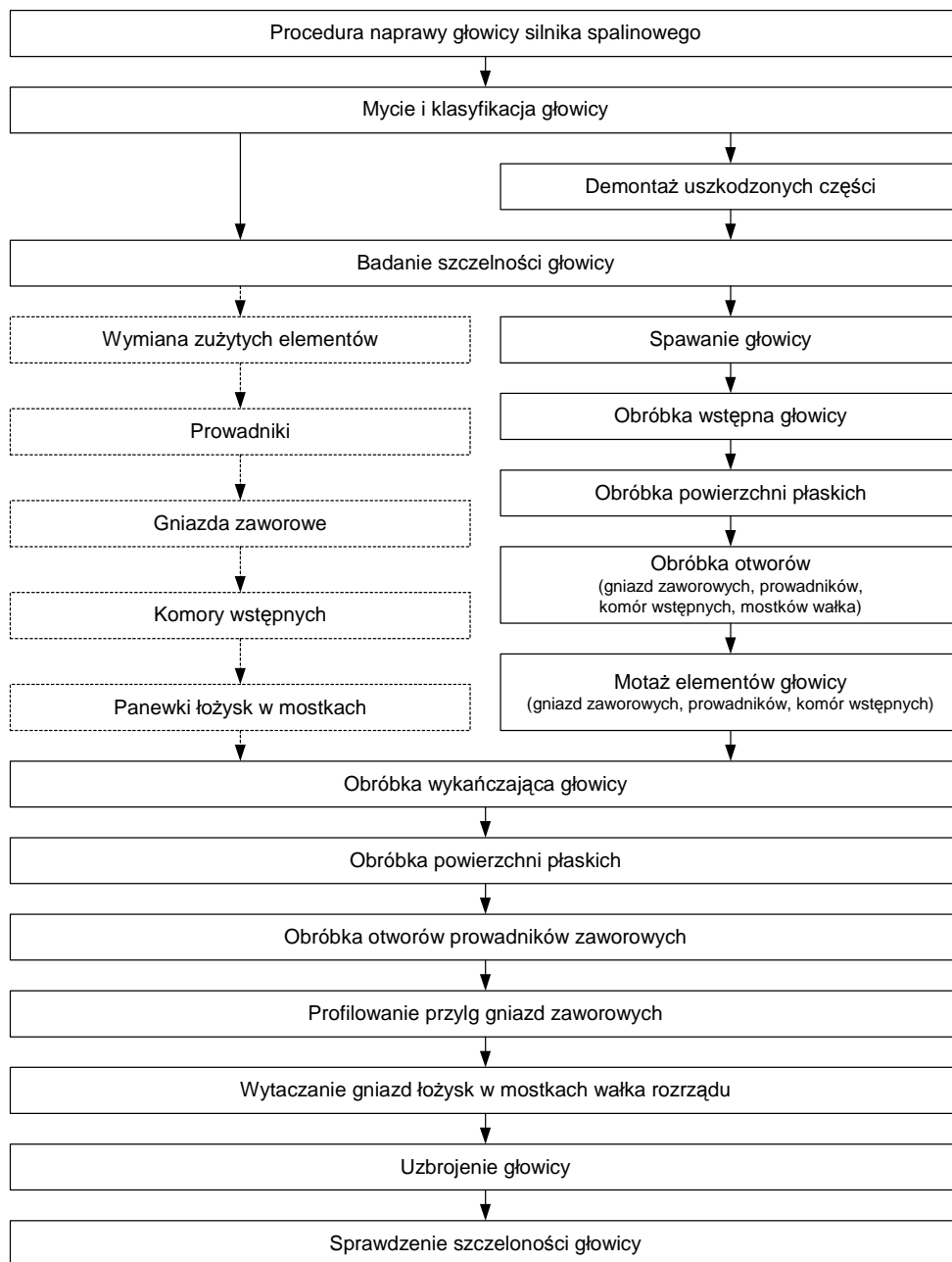
Klasyczne zużycie eksploatowanej głowicy to:

1. uszkodzenie gniazda zaworowego – jego obłuzowanie w gnieździe w wyniku złej regulacji zaworów, wypalenie gniazda, deformacji powierzchni współpracującej z zaworem.
2. Obłuzowanie się komory wstępnej w głowicy (Diesel).
3. Nadmierne zużycie otworu w przewodniku zaworowym.
4. Uszkodzenie powierzchni przylgowej głowicy do kadłuba
5. Zużycie łożysk i mostków wałka rozrządu.
6. Deformacja głowicy, wygięcie – skrzywienie, pęknięcia rys 5.
7. Nierównomierna utrata twardości w wyniku przegrzania silnika.

Tak duża różnorodność uszkodzeń wymusiła na autorach opracowania odpowiedniej procedury postępowania z dostarczoną do naprawy głowicą. Obejmuje ona zakres czynności niezbędnych w regeneracji głowicy, które pokazuje rys.6. Pozwoliło to na znaczne obniżenie kosztów naprawy.

KLASYFIKACJA GŁOWIC

Zgodnie z przedstawioną procedurą – dostarczone głowice po starannym oczyszczeniu z nagaru i umyciu podlegają klasyfikacji, która ma na celu zakwalifikowanie ich do określonej grupy (silniki benzynowe, diesla, stopnie zużycia, gabarytów itp.). Pozwala to na seryjne wykonywanie określonych zabiegów, unifikuje oprzyrządowanie i narzędzi oraz skrócenie czasu naprawy. W głowicach, które brały udział w kolizji z tłokiem konieczny jest demontaż uszkodzonych części. Istotną czynnością klasyfikacyjną jest sprawdzenie twardości głowicy od strony jej styku z kadłubem jak i pokrywy zaworów. Na podstawie wieloletnich doświadczeń stwierdzono, że nadmierna różnica twardości dyskwalifikuje ją z naprawy, ponieważ podczas eksploatacji silnika prędko ulega ponownemu uszkodzeniu. Elementem dyskwalifikującym jest również nadmierne odkształcenie powierzchni stykającej się z kadłubem. W dużych głowicach (do 6 cylindrowych silników), może dochodzić ono nawet do kilku milimetrów. Klasyfikacja pozwala również na ustalenie zakresu napraw. W praktyce może on obejmować tylko wymianę zużytych elementów np. na nadwymiarowe przewadniki zaworowe, gniazda zaworowe, komory wstępne i panewki łożysk i ich obróbkę wykańczającą. Znacznie częściej głowice mają pęknięcia między gniazdami zaworowymi (patrz rys. 5.), na komorach wstępnych itd., wtedy konieczne jest spawanie głowicy i dalsze czynności pokazane w procedurze.



Rys. 6.Procedura naprawy głowicy silnika spalinowego

MODUŁY TECHNOLOGICZNE W NAPRAWIE GŁOWIC

Przedstawiona procedura wymusza stosowanie określonej technologii, która realizowana jest na odpowiednich stanowiskach ze specjalnym oprzyrządowaniem, narzędziami a nawet obrabiarkami. Bardzo kłopotliwa jest operacja mycia i usunięcie nagaru. Dostarczona głowica z zewnątrz jest pokryta warstwą oleju i piasku, wewnątrz osadem z płynu chłodzącego a komory spalania nagarem. O ile osady zewnętrzne i wewnętrzne można usunąć w myjce „Metalas MC-125” stosując odpowiednie odczynniki myjące, to nagar można usunąć często tylko przy pomocy specjalnych szczotek.

Trudną operacją jest demontaż uszkodzonych części, jak zakleszczonych pociętych zaworów, uszkodzonych przewodników zaworowych, czy gniazd zaworowych. Tu niezbędne jest specjalne oprzyrządowanie do mocowania głowicy, ręczne przecinarki ściernie, ręczne prasy. Często korzysta się tu ze specjalnej wytaczarki VGS-20 f-my Sunnen oraz ze stanowiska do demontażu i montażu głowic CHW-50 f-my Sunnen. Pomiary twardości wykonuje się na klasycznych twardościomierzach Brinella lub Vickersa, natomiast płaskości na płytach pomiarowych z użyciem specjalnych liniałów, czasami również na maszynach pomiarowych.

W głowicach o odpowiedniej twardości i szczelności, często przed obróbką wykańczającą dokonuje się wymiany zużytych części (patrz rys. 6.) na nowe nadwymiarowe. Proces prowadzi się na stanowiskach do demontażów uszkodzonych części.

Osobne stanowisko naprawcze wymaga spawanie głowicy jak i jej późniejsza obróbka cieplna. Istotnymi elementami tej operacji to dobór odpowiedniego drutu spawalniczego, topnika i temperatury procesu – wiadomości te są tajemnicą zakładu. Od tego procesu zależy bowiem dalsza trwałość eksploatacyjna głowicy.

OBROBKA GŁOWICY

Jak wynika z procedury naprawy (rys.6.) obróbka głowicy może być wstępna, w której przygotowuje się powierzchnie do montażu nowych elementów głowicy. Chodzi tu głównie o usunięcie naddatków spawalniczych na pęknięciach, przygotowanie otworów pod przewodniki i gniazda zaworowe oraz komory wstępne jak i wstępne obrobienie powierzchni płaskiej. Należy tu podkreślić, że każda operacja jest realizowana na specjalnym stanowisku obróbczym wyposażonym w specjalistyczną obrabiarkę wraz z odpowiednimi przyrządami do mocowania głowicy, specjalistycznymi narzędziami skrawającymi i pomiarowymi.

Wstępne kształtowanie płaszczyzn przeprowadza się na frezarce pionowej typu FYR-40 I2 (Jarocin) z użyciem głowic frezarskich o średnicach zależnych od szerokości frezowania. Podstawę stanowią głowice $d_c = 315 \text{ mm}$, $d_c = 500 \text{ mm}$ z płytkami wymiennymi gatunku H10F lub H13 A (Coromant). Parametry skrawania mieszczą się w zakresie $v_c = 250 - 350 \text{ m/min}$, posuwu na ostrze $f_z = 0,1$ do $0,15 \text{ mm}$. Naddatki spawalnicze są frezowane frezami palcowymi pełnowęglkowymi typu RF(Gühring). Parametry skrawania mieszczą się w zakresie $v_c = 230 - 280 \text{ m/min}$ przy posuwie zależnym od średnicy freza $d = 2 \text{ mm}$ $f_z = 0,01 \text{ mm/z}$, $d = 20 \text{ mm}$ to $f_z = 0,1 \text{ mm/z}$. Głębokość frezowania nie powinna przekraczać $a_p = 1 \times D$

Kolejna operacja obróbki otworów odbywa się na kilku stanowiskach obróbczych. Istotna tu jest kolejność operacji i bazowanie głowicy ponieważ wszystkie otwory muszą być pod określonym kątem do powierzchni styku głowicy z kadłubem. Pierwszą jest obróbka otworu przewodnika zaworu. W zależności od stopnia zużycia głowicy przewiduje się dwa warianty obróbki. Jeden to wykonywanie nadwymiarowego otworu w istniejącym przewodniku. Drugi to wykonanie otworu w głowicy do osadzenia nowego przewodnika. Jest oczywiste, że do tych operacji konieczne są różne zestawy narzędziowe zarówno wiertła jak i rozwiertaki. W obu przypadkach operacje prowadzi się na tych samych obrabiarkach – wiertarsko wytaczarskich HS – 60 Sunnen. Parametry skrawania są zależne od rodzaju operacji jak i materiału w którym jest ona prowadzona.

Kolejne gniazdo obróbcze służy do wykonania otworów pod gniazda zaworów i komór wstępnych (do silników Diesla). Operację prowadzi się na precyzyjnej wytaczarce do głowic VGS-20-Sunnen lub SERDI F50 – (Francja) - narzędziami o specjalnej stereometrii. Parametry skrawania mieszczą się w zakresie $v_c = 150-250 \text{ m/min}$ i $f = 0,05-0,1 \text{ mm/obr.}$ Obróbka otworów pod panewki łożysk wałka rozrządu, to unikalna operacja – (najczęściej wystarczy wymienić tylko panewki) i przeprowadza się ją na specjalistycznej wytaczarce poziomej np. CB-2400-Sunnen. Istotne tu jest specjalne wytaczadło z wieloma nożami, pozwalającymi jednocześnie obrobić wszystkie gniazda z jednego mocowania

Obrobione wstępnie głowica, po kontroli technicznej, na stanowisku monterskim jest uzupełniona w brakujące elementy jak prowadniki i gniazda zaworowe oraz panewki łożysk wałka rozrządu. Tak przygotowana głowica podlega obróbce wykańczającej.

OBROBKA WYKAŃCAJĄCA GŁOWICY

Pierwsza operacja to obróbka powierzchni styku głowicy z kadłubem. W zależności od typu silnika, materiału głowicy (żeliwo lub stop z gatunku AK) jak i wymagań konstruktora musi ona mieć określoną chropowatość powierzchni w zakresie $R_z = 1-6 \mu\text{m}$ często jeszcze odpowiednio profilowaną. Obecnie można wyróżnić 3 zasadnicze rodzaje powierzchni o równomiernych śladach frezowania - rys.7a. Stosuje ją się w silnikach dużej mocy i wysokim stopniu sprężania. Najczęściej stosowane wymagania to średnia wysokość chropowatości $R_z = 5 - 15 \mu\text{m}$, bez określonej struktury powierzchni rys.7b. W silnikach starszej konstrukcji jak i specjalnych, wymagana jest mała chropowatość powierzchni $R_z \sim 1 - 2 \mu\text{m}$ rys.7c, którą można uzyskać na drodze szlifowania (obecnie nie zalecana), ale również frezowaniem specjalną głowicą z ostrzami z nasypem diamentowym stosując wysokie prędkości skrawania oraz małe wartości posuwu f_x oraz głębokości skrawania a_p . Operację taką prowadzi się na stanowisku z frezarką pionową FGS 32/40-TOS-CS z uchwytami mocującymi gwarantującymi dokładne bazowanie głowicy i mocowanie bez odkształceń. Istotne tu jest również pewne mocowanie narzędzi – uchwyty HSK – zagadnienie to zostało omówione we wcześniejszej publikacji [3].

Kolejna operacja to kalibrowanie otworu prowadnika zaworu. Częściowo to zagadnienie zostało omówione w literaturze [2] oraz w materiałach informacyjnych Koncernu Mahle [4].

Klasyczny otwór prowadnika w silnikach małej mocy jest cylindryczny wykonany w klasie dokładności IT6/7, o chropowatości $R_z(\text{DIN}) = 5 - 15 \mu\text{m}$. Wartości te można uzyskać na obrabiarce HS – 60 - stosując rozwiertaki pełnowęglkowe wykonane przez ITMA Politechniki Wrocławskiej lub f-my Gühring. Parametry skrawania zależą od materiału prowadnika i są one dostępne w katalogach. Znacznie trudniejsze pod względem technologicznym w wykonaniu są prowadniki z otworem kształtowym (baryłkowym lub butelkowym) zalecane do silników dużej mocy wykonane z żeliwa chromowo – molibdenowego lub żeliwa perlitycznego chromowo – fosforowego, które jest odporne na ścieranie w warunkach podwyższonej temperatury w strefie wydechu spalin. Technologia wykonania takich kształtów została opracowana przez zakłady Mahle – Krotoszyn i bazuje ona na gładzeniu otworu głowicami z osełkami z nasypem diamentowym o ziarnistości D – 151 na spoiwie metalowym. W głowicy narzędziowej znajduje się jedna ruchoma listwa robocza o długości 50 mm oraz dwie listwy stałe podporowe, lub tylko cztery listwy robocze o długości 30 mm. Do przeprowadzenia tej operacji konieczne jest specjalna honownica pracująca w cyklu automatycznym. W pierwszej fazie obróbki wykonuje się cylindryczny otwór na całej długości prowadnicy a następnie po zmianie skoku głowicy tylko wycinek otworu. W trakcie tej fazy obróbki ma miejsce ciągle rozprężanie głowicy z jednoczesnym zmniejszaniem skoku. Dobre rezultaty uzyskuje się na honownicy firmy NAGEL.

Profilowanie przyłg gniazd zaworowych prowadzi się na specjalnej obrabiarce SERDI F50 – (Francja), na której można uzyskać każdy wymagany kształt powierzchni. Specjalistyczne sterowanie obrabiarki przez komputer oraz zestaw specjalnych narzędzi w uchwytach HSK pozwala wykonać przyłgi w postaci wielostopkowych płaszczyzn ale również krzywoliniowe. Gwarantuje to dobrą współpracę zaworu z gniazdem i łatwe jego ewentualne dotarcie w montażu.

Wykonanie gniazd łożysk w mostkach wałka rozrządu odbywa się na obrabiarce CB 2400A i może ona składać z dwóch zabiegów wytoczenia i honowania lub przy małych naddatkach tylko z honowania. Istotne w tej operacji są narzędzia. Muszą one zapewnić jednoczesną obróbkę wszystkich otworów, by uzyskać wymaganą współosiowość. Parametry obróbki dobiera się zgodnie ze wskazówkami producenta panewek. Tak wykonana głowica po umyciu jest przekazana do gniazda w którym następuje jej uzbrojenie a następnie sprawdzana jest jej szczelność. Po osuszeniu i konserwacji przekazuje się ją zleceniodawcy.

PODSUMOWANIE

Regeneracja uszkodzonej lub zużytej głowicy silnika spalinowego jest trudną pod względem technologicznym operacją. Decyduje o tym duża różnorodność konstrukcji, gabarytów jak i charakteru ich zużycia. Proces regeneracji głowicy można rozpocząć według opracowanej przez Autorów Procedury czyli po przeprowadzeniu czynności wstępnych jak: mycie, usunięcie nagaru, oraz uszkodzonych części, sprawdzeniu szczelności i twardości. W rezultacie tych prac dzieli się głowice na dwie grupy naprawcze, w której jedna wymaga spawania i obróbki wstępnej i następnie kształtującej i druga tylko obróbkę wykańczającą. Uzyskanie pierwotnego kształtu głowicy wymaga specjalistycznego parku maszynowego z odpowiednim oprzyrządowaniem, zestawu narzędzi skrawających i pomiarowych oraz zastosowanie właściwych parametrów skrawania. Omówiona procedura naprawy głowicy silnika spalinowego jest stosowana w f-mie JURGAL -Mikołów. Gwarantuje on wysoką jakość regenerowanych głowic.

LITERATURA:

1. Kowalczyk T., Streubel A. Obróbka ścierna wysokostopowych gniazd zaworowych silników spalinowych. W.XVIII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej (Szklarska Poręba 15.09.1995) Oficyna Wydawnicza P.Wrocł. 1995 Prace Naukowe Instytutu Technologii Maszyn i Automatyzacji P.Wrocł. nr 59 seria nr 24.
2. Streubel A. Wykonywanie otworu w przewodniku zaworowym silnika spalinowego. W. Prace Instytutu Technologii Maszyn i Automatyzacji P. Wrocł. Przygotowane na posiedzenie Sekcji P.A.N. w Zakładach Mahle Krotoszyn. Oficyna Wydawnicza P. Wrocł. 2001, Nr 79 seria nr 37.
3. Streubel A., Kuran M., Subbotko R. Metody mocowania narzędzi trzpieniowych na obrabiarkach. Technologia i Automatyzacja Montażu Nr 2, 3 2007.
4. Kosicki A., Kleparski B. Gładzenie kształtowych otworów przewodnic zaworowych w Mahle Krotoszyn. Materiały informacyjne Koncernu Mahle.

PROCEDURE FOR COMBUSTION ENGINE HEAD REGENERATION

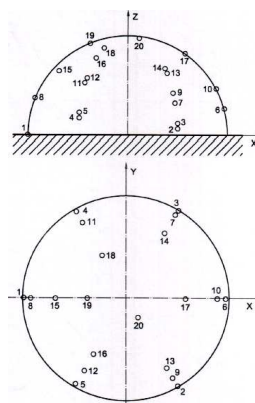
In the article a procedure of combustion engine head repair is presented. The procedure was worked out in JURGAL-Mikołów plant. Range of activities, which depends on size of a head wear was described too. Necessary equipment, tools and machining parameters fulfill the requirements for new head are also discussed.

Andrzej ZBROWSKI
Jordan MĘŻYK
Piotr CZAJKA
 Instytut Technologii Eksploatacji – PIB
 Radom, Polska

MODUŁOWY MANIPULATOR DO POMIARÓW AKUSTYCZNYCH W KOMORZE BEZECHEWEJ³

MODULAR MANIPULATOR FOR ACOUSTICAL MEASUREMENTS IN ANECHOIC CHAMBER

Pomiary akustyczne realizowane w komorze bezechowej obejmują określenie poziomu mocy akustycznej źródeł hałasu, wyznaczanie charakterystyki kierunkowej przetworników elektroakustycznych oraz wyznaczanie charakterystyki rozpraszania dźwięku przez struktury [1,2]. Technika realizacji pomiarów wiąże się z koniecznością pozycjonowania mikrofonu pomiarowego w wielu punktach przestrzeni pomiarowej zgodnie z odpowiednimi normami. Tradycyjnie badania są wykonywane przy wykorzystaniu przenośnych statywów do mocowania mikrofonów pomiarowych, co znacznie komplikuje i wydłuża czas realizacji badań. Pomiar mocy akustycznej (PN-EN ISO 3745:2005) jest znamienny dla grupy najczęściej stosowanych i pracochłonnych badań wymagających ułożenia punktów pomiarowych na półsferze (rys.1.). W zasadzie wszystkie wymienione procedury wymagają pozycjonowania mikrofonu na powierzchni półsfery lub do identyfikacji charakterystyk kierunkowych układu źródło-obiekt-mikrofon.



Rys. 1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych na półsferze

³ Praca badawcza sfinansowana ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego, wykonana w ramach realizacji Programu Wieloletniego pn. „Doskonalenie systemów innowacyjności w produkcji i eksploatacji w latach 2004-2008”.

Automatyzacja akustycznych procesów pomiarowych w komorze bezekowej, jest zagadnieniem stawiającym szereg nietypowych, trudnych i nierzadko wzajemnie sprzecznych wymagań. Specyfika pomiarów wymaga bowiem zastosowania rozwiązań minimalizujących zakłócenia pola akustycznego [3]. Natomiast automatyzacja wiąże się zawsze z wprowadzeniem dodatkowych elementów mechanicznych, które zakłócają pole swobodne komory bezekowej.

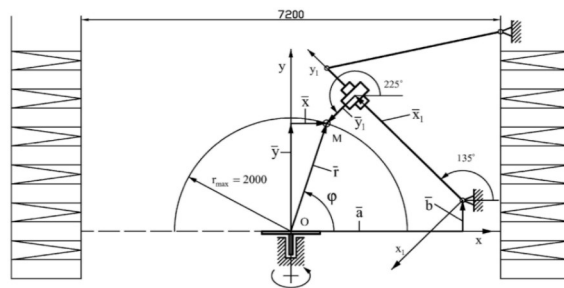
Główne zadania opracowanego manipulatora to zwiększenie dokładności, uniwersalności oraz ułatwienie prowadzenia badań o charakterze naukowo-badawczym, dydaktycznym oraz badań przemysłowych objętych procedurami określonymi w normatywach [4].

STRUKTURA KINEMATYCZNA

Opracowana struktura kinematyczna uwzględnia wymaganą modułowość konstrukcji. Modułowa struktura manipulatora jest rozwiązaniem dopasowanym do specyfiki eksploatacyjnej i wymagań pomiarowych panujących wewnątrz komory bezekowej.

Wymagana przestrzeń robocza w postaci półsfery została zaprojektowana z zastosowaniem kinematyki szeregowej o strukturze rotacja – translacja- translacja (RTT) z odseparowaną osią obrotową.

W opracowanym modelu (rys. 2) uzyskanie dowolnego położenia punktu M, określonego w płaskim układzie współrzędnych OXY wymaga przemieszczenia członów ruchomych w dwóch liniowych osiach posuwowych. Szczególne ustawienie kątowe osi translacji względem osi rotacji pozwala na minimalizację wymiarów manipulatora.



Rys. 2. Schemat kinematyczny mechanizmu manipulatora: \bar{x}_1 - oś translacji, \bar{y}_1 - oś translacji, \bar{y} - oś rotacji

Zmianę położenia liniowych osi posuwowych definiuje równanie:

$$\bar{x} + \bar{y} = \bar{a} + \bar{b} + \bar{x}_1 + \bar{y}_1 \quad (1)$$

Ponieważ w modelu geometrycznym prostym:

$$\begin{aligned} x &= a + x_1 \cos 135^\circ + y_1 \cos 225^\circ \\ y &= b + x_1 \sin 135^\circ + y_1 \sin 225^\circ \end{aligned} \quad (2)$$

oraz:

$$x = r \cos \varphi, \quad y = r \sin \varphi \quad (3)$$

Zatem dla modelu geometrycznego odwrotnego:

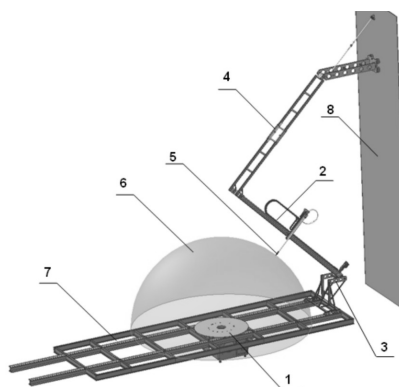
$$\begin{aligned}x_1 &= \frac{\sqrt{2}}{2}(a - b - r \cos \varphi + r \sin \varphi) \\y_1 &= \frac{\sqrt{2}}{2}(a + b - r \cos \varphi - r \sin \varphi)\end{aligned}\quad (4)$$

Półsfery pomiarowa powstaje po uwzględnieniu w globalnym przestrzennym układzie współrzędnych wartości kąta obrotu wokół osi Y.

MODUŁY MANIPULATORA

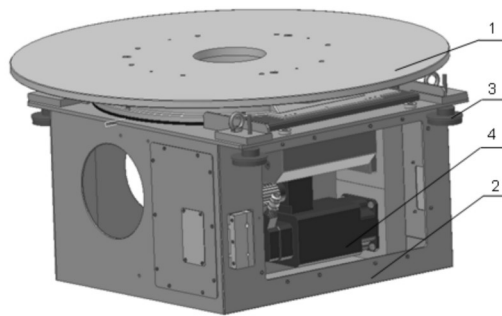
W manipulatorze wyodrębniono moduł poziomej platformy obrotowej z pionową osią obrotu do manipulowania obiektem badań, oraz planarny, usytuowany w płaszczyźnie pionowej, moduł skanujący XY do manipulowania elementem pomiarowym (rys. 3).

Złożenie ruchu obrotowego platformy oraz płaskiego ruchu modułu XY tworzy przestrzeń pomiarową o kształcie półsfery. Wymiary geometryczne modułu umożliwiają realizację badań w półsferze pomiarowej o maksymalnym promieniu 2000 mm. Zmniejszenie promienia półsfery jest możliwe poprzez zastosowanie uchwytu mikrofonu o większej długości.



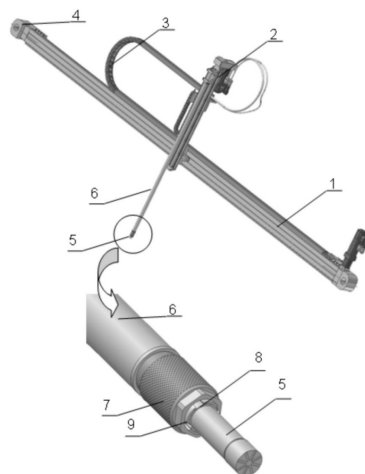
Rys. 3. Wirtualny model manipulatora pomiarowego: 1 – moduł platformy obrotowej, 2 – moduł skanujący XY, 3 – podstawa modułu XY, 4 – wieszak modułu XY, 5 – mikrofon pomiarowy, 6 – półsfery pomiarowa, 7 – rama główna komory bezdechowej, 8 – ściana komory bezdechowej

Moduł platformy obrotowej (rys. 4) mocowany do ramy głównej komory bezdechowej jest mechanizmem umożliwiającym precyzyjny obrót obiektu badanego z dokładnością $\pm 0,01^\circ$. Nośność platformy przy symetrycznym rozkładzie obciążenia wynosi 1000 kg, dopuszczalny moment bezwładności pozycjonowanego obiektu 500 kgm^2 . W konstrukcji platformy obrotowej zastosowano elektromechaniczny pierścień obrotowy NR 750 firmy Weiss napędzany za pomocą serwonapędu MSK 100B firmy Bosch-Rexroth. Zastosowane wibroizolatory podtrzymują platformę na belkach poprzecznych, izolując konstrukcję nośną od drgań napędu oraz umożliwiają poziomowanie modułu. W celu stłumienia drgań korpusu zastosowano bitumicznie – gąbkowe maty tłumiące mocowane do wewnętrznych ścian ramy.



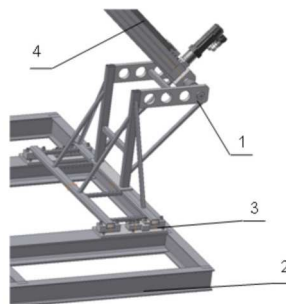
Rys. 4. Moduł obrotowy: 1 – pierścień obrotowy, 2 – rama modułu, 3 – wibroizolator, 4 – serwosilnik

Moduł skanujący XY (rys. 5) opracowano z zastosowaniem kompaktowych, profilowych modułów liniowych firmy Bosch-Rexroth. Oś wzdłużną stanowi moduł liniowy CRK 12-90 o długości 3300 mm. Zakres pozycjonowania osi wzdłużnej wynosi 3119 mm. Wózek modułu jest pozycjonowany za pomocą mechanizmu z paskiem zębatym. Napęd mechanizmu paska zębatego jest przekazywany z serwonapędu za pomocą redukcyjnej przekładni planetarnej. Oś poprzeczną stanowi precyzyjny moduł liniowy PSK 60 o długości 700 mm. Zakres pozycjonowania w osi poprzecznej wynosi 615 mm. Wózek modułu jest pozycjonowany za pomocą mechanizmu śrubowo-tocznego. Napęd mechanizmu śrubowego jest przekazywany z serwonapędu za pomocą redukcyjnej przekładni z pasem zębatym. Mikrofon pomiarowy zamocowano w sprężystym uchwycie samocentrującym (rys. 4), wyposażonym dodatkowo w tulejowy wibroizolator w celu tłumienia drgań. Uchwyt mikrofonu jest elementem wymiennym o długości ustalonej odpowiednio do zadanego promienia półsfery pomiarowej.



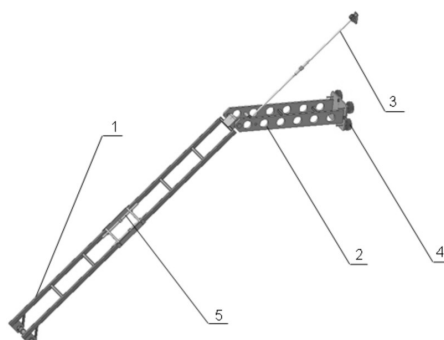
Rys. 5. Moduł skanujący XY: 1 - moduł liniowy z paskiem zębatym, 2 – precyzyjny moduł liniowy z mechanizmem śrubowo-tocznym, 3 – przewód kablowy, 4 – uchwyt modułu, 5 – mikrofon pomiarowy, 6 – uchwyt mikrofonu, 7 – nakrętka blokująca, 8 – wibroizolator tulejowy, 9 – tulejka sprężysta

Moduł skanujący XY posadowiono na podstawie mocowanej do ramy konstrukcji nośnej (rys. 6) oraz podwieszono na wieszaku (rys. 7) przytwierdzonym do ściany komory. Podstawa oraz wieszak mają funkcjonalność podpór przegubowych nieprzesuwnych o przegubach obrotowych.



Rys. 6. Podstawa modułu skanującego XY: 1 – rama podstawy, 2 – rama główna konstrukcji wsporczej, 3 – podkładka wibroizolatora, 4 – moduł CRK

W celu tłumienia drgań wspornik dolny ustalono z zastosowaniem korkowych podkładek wibroizolujących. W tym samym celu wysięgnik zamocowano do ściany komory za pomocą uchwyty z czterema uchylnymi wibroizolatorami płytowymi.



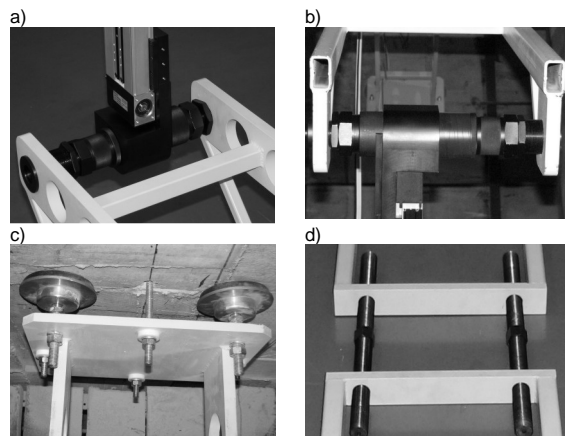
Rys. 7. Wieszak modułu skanującego: 1 – łącznik nastawny, 2 – wysięgnik, 3 – odciąg, 4 – uchylny wibroizolator płytowy, 5 – rzymskie śruby regulacyjne

Łącznik nastawny wchodzący w skład wysięgnika posiada regulowaną długość. Regulacja wysokości wibroizolatorów i długości łącznika nastawnego umożliwia kompensację błędów wykonania oraz precyzyjne justowanie manipulatora w procesie montażu. W celu uniknięcia mostków przenoszących drgania, śruby montażowe wspornika oraz wysięgnika poprowadzono w tulejkach wibroizacyjnych.

INTEGRACJA

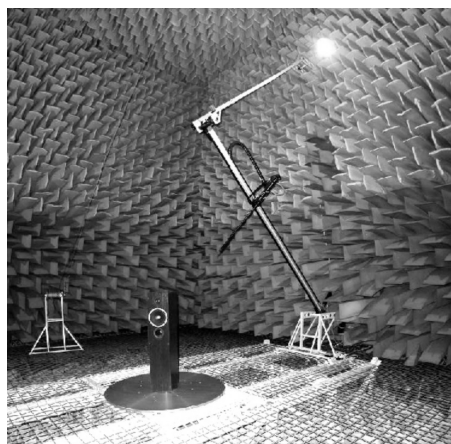
Integracja konstrukcji manipulatora z infrastrukturą komory wymaga procedury justowania modułu skanującego z modułem obrotowym. Procedura justowania obejmuje regulację kąta pochylenia modułu skanującego XY oraz ustawienia modułu względem środka platformy obrotowej. Kąt pochylenia jest regulowany za pomocą śrub rzymskich w wieszaku modułu skanującego. Właściwe ustawienie modułu wzglę-

dem środka platformy obrotowej umożliwiają nakrętki regulacyjne na poziomych sworzniach mocujących oraz śruby uchylnych wibroizolatorów płytowych (rys. 8).



Rys. 8. Węzły regulacyjne geometrii manipulatora: a) nakrętki regulacyjne sworznia dolnego modułu skanującego, b) nakrętki regulacyjne sworznia górnego modułu skanującego, c) wibroizolatory nastawne, d) rzymskie śruby regulacyjne w łączniku nastawnym

Manipulator zainstalowany w komorze bezechowej (rys. 9) ze względu na rozproszenie osi napędowych oraz małe przekroje poprzeczne zastosowanych elementów konstrukcyjnych nie zakłóca pola akustycznego.



Rys. 9. Manipulator zainstalowany w komorze bezechowej

W przypadku prowadzenia badań wykluczających obecność manipulatora istnieje możliwość wielokrotnego montażu i demontażu modułu skanującego oraz modułu platformy obrotowej. Możliwe jest także ręczne parkowanie modułu skanującego wzdłuż pionowej ściany komory po uprzednim rozprzęgnięciu modułu skanującego z wieszakiem.

PODSUMOWANIE

Opracowana modułowa struktura konstrukcji jest elastyczna i umożliwia łatwą rekonfigurację poszczególnych modułów. Dzięki temu możliwa jest swobodna aranżacja sceny pomiarowej oraz bezinwazyjna integracja systemu z infrastrukturą komór bezechowych. Przyjęte rozwiązanie konstrukcji jest korzystne ze względu na ograniczenie liczby węzłów kinematycznych. Zastosowane rozwiązania zapewniają wymaganą sztywność konstrukcji, stabilność położenia końcówki czujnika oraz powtarzalność pozycjonowania. Modułowość konstrukcji została dostosowana do infrastruktury komory bezechowej oraz potrzeb wynikających ze specyfiki eksploatacji, serwisowania i dalszego rozwoju systemu badawczego. Manipulator pomiarowy w wersji modelowej zainstalowano w komorze bezechowej Laboratorium Wibroakustyki Akademii Górniczo Hutniczej w Krakowie.

LITERATURA

1. Batko W., Dąbrowski Z., Engel Z., Kiciński J., Weyna S.: Nowoczesne metody badania procesów wibroakustycznych. Instytut Technologii Eksploatacji-Państwowy Instytut Badawczy w Radomiu, 2005.
2. Cox T.J. and D'Antonio P., Acoustic Absorbers and Diffusers: Theory, Design and Application, Spon Press 2004.
3. Weyna S.: Rozpływ Energii Akustycznych Źródeł Rzeczywistych. Wydawnictwo Naukowo - Techniczne Warszawa 2005
4. Mężyk J, Kamisiński T, Zbrowski A, Flach A.: Hardware Structure of a Control Section of Manipulation Mechanism for Acoustical Measurement in Anechoic Chamber. . Solid State Phenomena Vols. 147-149 (2009) pp 7-12.
5. Batko W., Felis J, Flach A., Kamisiński T., Giesko T., Zbrowski A.: A concept of an actuator for the positioning measurement system in an anechoic room. Archives of Acoustic. Vol. 33, No 2, Warszawa 2008, str. 201-207.

MODULAR MANIPULATOR FOR ACOUSTICAL MEASUREMENTS IN ANECHOIC CHAMBER

The article presents modular structure of special manipulator for acoustical research in anechoic chamber. Presented modular solution allows automatic measurement with minimal interference in acoustical field. Manipulator allows automatic positioning of measurement microphone on the hemisphere. The manipulator consists of three modules: rotating platform module with vertical axis to manipulate the object under test, planar XY scanning module to manipulate measurement device and support and suspension module for the XY scanning module. Composition of platform rotation and planar movement of XY scanning modules creates measurement space in the shape of hemisphere. Geometrical dimensions of modules allow research in measurement hemisphere of maximum radius of 2000mm.

Rafał KLUZPolitechnika Rzeszowska
Rzeszów, Polska**WYZNACZENIE OPTYMALNEJ ORIENTACJI CHWYTAKA ROBOTA MONTAŻOWEGO****THE DEFINITION THE OPTIMUM ORIENTATION THE GRIPPER OF ROBOT**

Najważniejszym i zarazem najtrudniejszym etapem procesu montażu jest wzajemna orientacja części przed montażem, zwłaszcza wówczas, gdy części lub zespoły powinny być zorientowane z dużą dokładnością względem siebie. Niezapewnienie wymaganej dokładności uniemożliwia realizację procesu montażowego, narusza jego stabilność i powoduje pogorszenie efektywności ekonomicznej całego procesu. Podstawowym warunkiem osiągnięcia wysokiej niezawodności pracy systemu montażowego jest spełnienie warunku montowalności dla wszystkich kojarzonych części. Można to uzyskać poprzez wybór odpowiedniego sposobu montażu oraz zapewnienie wymaganej dokładności urządzeń wchodzących w skład łańcucha kinematycznego operacji montażowej. Zastosowanie jednak urządzeń i oprzyrządowania o wysokiej dokładności prowadzi do zwiększenia prawdopodobieństwa poprawnej realizacji procesu łączenia części, lecz zdecydowanie zwiększa ich koszt. Stosowanie więc zbyt precyzyjnych i skomplikowanych środków robotyzacji montażu może być wysoce nieekonomiczne i stawić pod znakiem zapytania opłacalność zrobotyzowania danego procesu montażu. Dlatego w ostatnim okresie prowadzone są intensywne badania, nad możliwościami zwiększania niezawodności stanowisk montażowych innymi drogami, niż drogą zwiększania dokładności urządzeń i oprzyrządowania stanowisk montażowych [3].

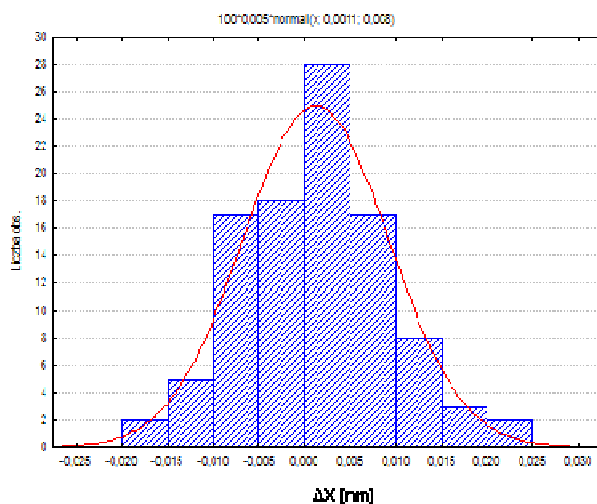
Błąd położenia osi orientowanych części jest zmienną losową uzależnioną od błędów powtarzalności robota montażowego, błędów powtarzalności urządzeń montowanych na jego końcówce wykonawczej oraz błędów ustalenia części bazowej. Typowymi urządzeniami wchodzącymi w skład wyposażenia technologicznego robotów montażowych są wszelkiego rodzaju chwytaki, urządzenia do automatycznej wymiany narzędzi oraz urządzenia antykolizyjne. Każde z przedstawionych urządzeń wnosi do procesu pewne błędy, których parametry mają stałą wartość. Wyjątek stanowi jedynie chwytak robota, który w przypadku montażu symetrycznych części cylindrycznych może zostać obrócony o dowolny kąt wokół osi orientowanej części ($\pm 180^\circ$). W większości przypadków błąd powtarzalności chwytaka robota nie podlega kołowemu normalnemu rozkładowi prawdopodobieństwa, gdyż błędy generowane na kierunku ruchu szczęk chwytaka znacznie przewyższają błędy generowane na osi do niej prostopadłej [4]. Otwiera to zatem dodatkową możliwość zwiększenia prawdopodobieństwa poprawnej realizacji procesu montażu poprzez odpowiednią orientację chwytaka robota montażowego, zapewniającą najlepsze parametry procesu kojarzenia części.

BADANIA POWTARZALNOŚCI POZYCJONOWANIA CHWYTAKA

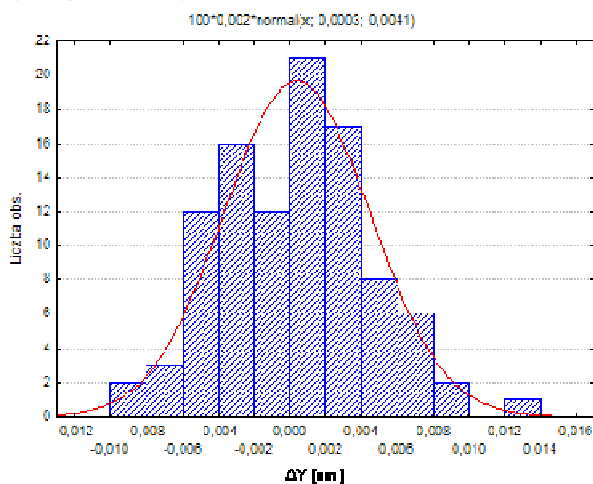
Roboty montażowe są wyposażone w różnego rodzaju urządzenia chwytające, którymi najczęściej są chwytaki utrzymujące obiekt w końcówkach chwytanych. Rola chwytaka sprowadza się do uchwycenia obiektu manipulacji, trzymania obiektu w trakcie czynności manipulacyjnych oraz uwolnienia obiektu w miejscu docelowym.

Na rynku znajduje się cała gamma firm oferujących chwytaki do robotów przemysłowych. Chwytaki te dostarczane są jednak do użytkownika z bardzo skromnymi informacjami dotyczącymi ich dokładności. Typowe informacje jakie można odnaleźć w specyfikacji technicznej ograniczają się jedynie do podania skrajnych odchyłków błędów powtarzalności pozycjonowania. Przykładem może być chwytak pneumatyczny HM 51 stanowiący wyposażenie stanowiska montażowego znajdującego się w Katedrze Technologii Ma-

szyn i Organizacji Produkcji Politechniki Rzeszowskiej. Informacje dotyczące chwytaka ograniczają się do stwierdzenia, że jego powtarzalność nie przekracza $\pm 0.025\text{mm}$, bez określenia kierunku wprowadzania tych uchybów. Sugeruje to, że błąd chwytaka może podlegać kołowemu normalnemu rozkładowi prawdopodobieństwa. W celu zweryfikowania tych danych dokonano pomiaru zmiennych losowych błędów powtarzalności chwytaka HM 51. Wyniki pomiarów w postaci wykresu rozrzutu i histogramów przedstawiono na rys. 1 - 3.



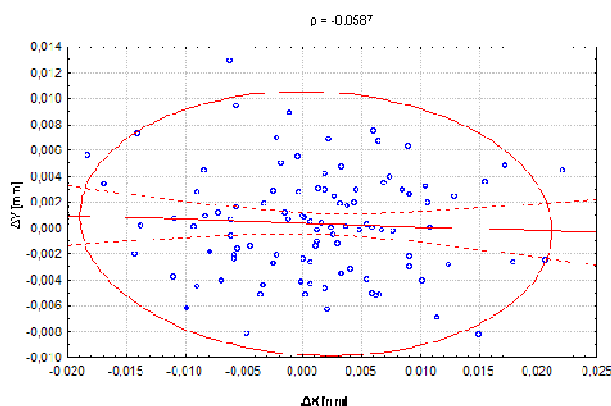
Rys.1. Histogram przedstawiający uchyb liniowy chwytaka HM 51 na kierunku osi x



Rys.2. Histogram przedstawiający uchyb liniowy chwytaka HM 51 na kierunku osi y

Ponieważ rozkład normalny jest jednoznacznie określony przez brzegowe odchylenia standardowe i współczynnik korelacji, weryfikację statystyczną uzyskanych wyników pomiarów przeprowadzono w dwóch etapach. Na etapie pierwszym weryfikowano hipotezę, że brzegowy rozkład badanej cechy jest

rozkładem normalnym $N(x,s)$, gdzie x,s są oszacowaniami nieznanymi parametrów wartości oczekiwanej i odchylenia standardowego na podstawie n – elementowej próbki (w trakcie badań pobrano próbki o liczności $n = 100$) przy pomocy testu zgodności Kołmogorowa – Lillieforsa [5, 6], a następnie weryfikowano hipotezę że współczynnik korelacji w badanej populacji jest równy zeru: $H: \rho = 0$.



Rys. 3. Wykres rozrzutu błędów chwytaka HM 50

Dla analizowanych zmiennych, wartości statystyk nie należały do zbiorów krytycznych, nie było więc podstaw do odrzucenia hipotezy, że uzyskane wyniki pomiarów podlegają dwuwymiarowemu prawu rozkładu Gaussa. Rozkład ten jednak (jak to wynika również z rysunku 3) znacznie różni się od rozkładu kołowego, gdyż wartość błędu wnoszona przez chwytak na kierunku ruchu szczęk chwytaka prawie dwukrotnie przewyższa błąd wnoszony na kierunku do niego prostopadłym. Analiza współczynnika korelacji liniowej wykazała natomiast, że błędy wprowadzane na kierunkach przyjętego układu współrzędnych są niezależnymi zmiennymi losowymi.

WYZNACZENIE SKŁADOWYCH TENSORA KOWARIANCJI

Przeprowadzone badania wykazały, że błąd powtarzalności chwytaka robota w płaszczyźnie montażu można scharakteryzować za pomocą dwuwymiarowej zmiennej losowej, podlegającej prawu normalnego rozkładu prawdopodobieństwa, o gęstości prawdopodobieństwa f tej zmiennej określonej funkcją (1), o znanej macierzy wartości oczekiwanych $\mu T = [\mu_1, \mu_2]$ i macierzy kowariancji Λ

$$f(X) = \frac{1}{2\pi\sqrt{|\Lambda|}} \exp\left[-\frac{1}{2}(x - \mu)^T \Lambda^{-1}(x - \mu)\right] \quad (1)$$

W przypadku chwytaka robota przemysłowego mamy do czynienia z tensorami w pełni opisanymi, poprzez swoje składowe główne i kierunki główne. Tensory te można zapisać jako:

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

gdzie σ_1, σ_2 – odchylenie standardowe zmiennej losowej na osi x_1 i x_2 (rys. 3)

Jeżeli chwytak obrócimy o kąt β (rys. 4) względem osi głównych wówczas tensor przyjmie postać:

$$A = \begin{bmatrix} \sigma_{xx}^2 & cov(x, y) \\ cov(x, y) & \sigma_{yy}^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Gdzie przekształcone składowe są równe:

$$\sigma_{xx}^2 = \sigma_1^2 \cos^2 \beta + \sigma_2^2 \sin^2 \beta \quad (4)$$

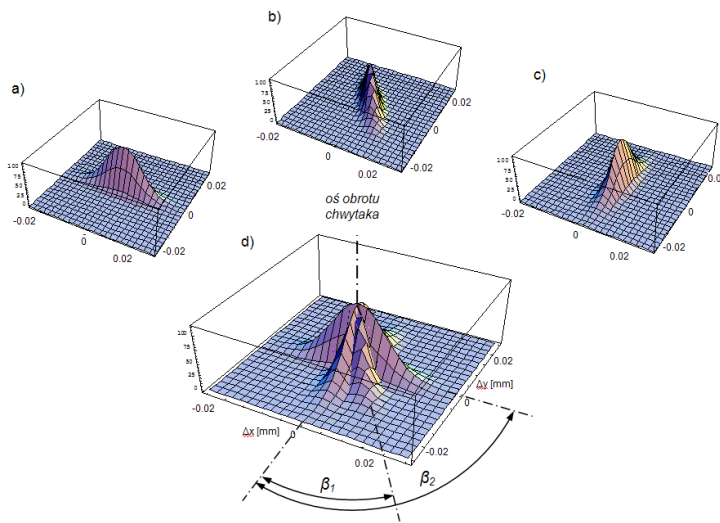
$$\sigma_{yy}^2 = \sigma_1^2 \sin^2 \beta + \sigma_2^2 \cos^2 \beta \quad (5)$$

$$cov(x, y) = 0.5(\sigma_1^2 - \sigma_2^2) \sin^2 2\beta \quad (6)$$

W ten sposób można wyznaczyć parametry zmiennej losowej powtarzalności chwytaka robota przemysłowego jakie powstają w wyniku jego obrotu wokół osi manipulowanej części. Z analizy zależności (4 – 6) i rys. 4 wynika, że parametry rozkładu nie ulegają zmianie, zmianie ulega jedynie kąt obrócenia osi głównej tensora kowariancji, na której generowane są maksymalne błędy chwytaka, a w związku z tym wraz z obrotem zmienia się wpływ tych błędów na prawdopodobieństwo poprawnej realizacji procesu.

WYZNACZENIE OPTIMALNEGO KĄTA OBROTU CHWYTAKA

W trakcie realizacji procesu montażu, kąt obrotu chwytaka robota przemysłowego γ (rys. 5) względem osi głównej tensora kowariancji zmiennej losowej błędu odległości między osiami powinien mieć taką wartość, która zapewni najwyższe prawdopodobieństwo montażu części



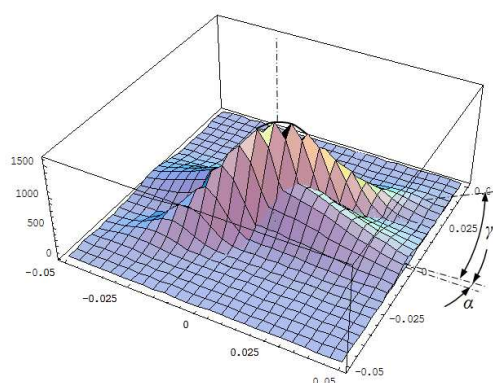
Rys. 4. Zmiana parametrów zmiennej losowej błędu chwytaka na skutek obrotu kiści robota o kąt β : a) $\beta = 90^\circ$, b) $\beta = 40^\circ$, c) $\beta = 0^\circ$, d) porównanie parametrów zmiennych losowych

Wyznaczenie optymalnego kąta wymaga zatem rozwiązania zadania optymalizacji nieliniowej jednej zmiennej. Funkcją celu w tym przypadku jest wartość prawdopodobieństwa poprawnej realizacji procesu montażu czyli prawdopodobieństwo zdarzenia, że zmienna losowa opisująca odległość pomiędzy osiami kojarzonych części znajdzie się wewnątrz pewnego hipotetycznego cylindra o środku znajdującym się w punkcie nominalnym N i średnicy odpowiadającej luzowi montowanego połączenia. W celu wyznaczenia prawdopodobieństwa połączenia należy zatem dokonać całkowania funkcji gęstości normalnego rozkładu prawdopodobieństwa w obszarze $O: \{ \zeta_{12} + \zeta_{22} \leq (0,5 \delta)^2 \}$ [1, 2]:

$$P = \iint_{\zeta_1^2 + \zeta_2^2 \leq (0,5\delta)^2} \frac{1}{2\pi\sqrt{|\Sigma\Lambda|}} \exp \left[-\frac{1}{2} (x-\mu)^T (\Sigma\Lambda)^{-1} (x-\mu) \right] \rightarrow \max \quad (7)$$

gdzie $\Sigma\Lambda$ suma macierzy kowariancji błędu chwytaka i błędu odległości między osiami

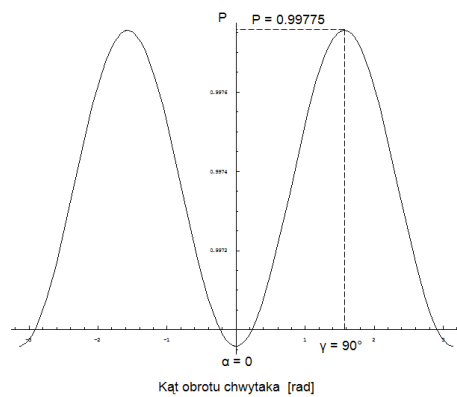
Przedstawione zagadnienie rozwiązano dla kilku przypadków parametrów zmiennych losowych. Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono graficznie wyniki przeprowadzonej analizy, która wskazała jednoznacznie że niezależnie od przyjętych wartości parametrów zmiennych losowych najlepsze parametry procesu kojarzenia, a zatem najwyższą wartość prawdopodobieństwa można uzyskać orientując chwytak pod 90° w stosunku do kierunku głównego tensora kowariancji zmiennej losowej błędu odległości między osiami.



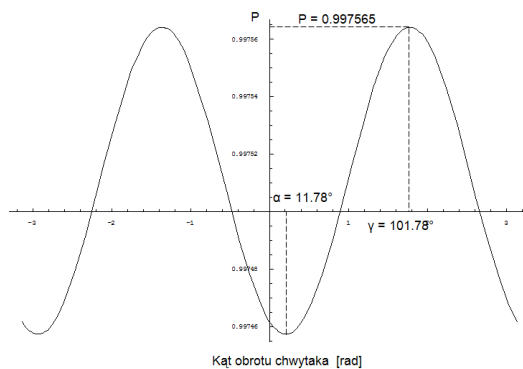
Rys. 5. Interpretacja kąta α odchylenia osi głównych tensora kowariancji zmiennej losowej błędu odległości między osiami oraz optymalnego kąta obrotu chwytak γ

Tabela 1. Parametry zmiennych losowych

Wyszczególnienie	Kąt obrotu chwytaka γ [rad]	Prawdopodobieństwo montażu
Parametry zmiennej losowej błędu powtarzalności chwytaka	$\sigma_x = 0.0083$ mm, $\sigma_y = 0.004$ mm, $\text{cov}\eta_1(x_1, x_2) = 0$	
Parametry zmiennej losowej odległości między osiami	$\sigma_{1x} = 0.025$ mm, $\sigma_{1y} = 0.015$ mm, $\text{cov}\eta_1(x_1, x_2) = 0$	
Wartość parametru	1.5707	0.99775
Parametry zmiennej losowej błędu powtarzalności chwytaka	$\sigma_x = 0.0083$ mm, $\sigma_y = 0.004$ mm, $\text{cov}\eta_1(x_1, x_2) = 0$	
Parametry zmiennej losowej odległości między osiami	$\sigma_{1x} = 0.025$ mm, $\sigma_{1y} = 0.015$ mm, $\text{cov}\eta_1(x_1, x_2) = 0$	
Wartość parametru	1.7764	$P = 0.997565$



Rys. 6. Wpływu kąta obrotu chwytaka na prawdopodobieństwo montażu części cylindrycznych:
 $\alpha = 0^\circ$, $\gamma = 90^\circ$



Rys. 7. Wpływu kąta obrotu chwytaka na prawdopodobieństwo montażu części cylindrycznych:
 $\alpha = 11.78^\circ$, $\gamma = 101.78^\circ$

WNIOSKI

Błąd powtarzalności pozycjonowania chwytaka robota montażowego można opisać w postaci dwuwymiarowej funkcji gęstości normalnego rozkładu prawdopodobieństwa. Rozkład ten jednak znacznie różni się od rozkładu kołowego, gdyż wartość błędu wnoszona przez chwytak na kierunku ruchu szczęk chwytaka prawie dwukrotnie przewyższa błąd wnoszony na kierunku do niego prostopadłym.

Parametry zmiennej losowej powtarzalności chwytaka robota przemysłowego powstałe poprzez obrót kiści robota nie ulegają zmianie, zmianie ulega jedynie kąt obrócenia osi głównej tensora kowariancji, na której generowane są maksymalne błędy chwytaka, a w związku z tym wraz z obrotem zmienia się wpływ tych błędów na prawdopodobieństwo poprawnej realizacji procesu.

Przeprowadzone badania wskazały, że optymalny kąt obrotu chwytaka wynosi 90° w stosunku do kąta odchylenia osi głównych tensora kowariancji zmiennej losowej błędów odległości między osiami. Ustawienie chwytaka w takim położeniu zapewnia maksymalne prawdopodobieństwo połączenia części.

Obrót chwytaka przy założeniu stałej wartości prawdopodobieństwa umożliwia zmniejszenie luzu połączenia możliwego do zrealizowania na danym stanowisku montażowym. W przypadku analizowanych zmiennych losowych przedstawionych w tabeli 1, optymalna orientacja chwytaka umożliwia zmniejszenie luzu od 8% do 12% w stosunku do skrajnie niekorzystnego ustawienia chwytaka. Przeprowadzona dodatkowa analiza wykazała ponadto że w przypadku skrajnie niekorzystnego zbiegu odchyłek błędów generowanych na stanowisku montażowym na skutek obrotu chwytaka można zmniejszyć wielkość luzu połączenia nawet o 20%.

LITERATURA

1. Kluz R., Badania teoretyczne i eksperymentalne montowalności części cylindrycznych. *Technologia i Automatyzacja Montażu*, 2008, nr 1, s. 8–11.
2. Kluz R., Montowalność czopowo – tulejowych połączeń realizowanych przez roboty montażowe, *Technologia i Automatyzacja Montażu*, 2007, nr 2, s. 17–20
3. Kluz R., Szabajkiewicz W.: Wpływ błędów kinematycznych na prawdopodobieństwo montażu cylindrycznych połączeń części maszyn. *Technologia i Automatyzacja Montażu*, nr 2/2005.
4. Kotulski Z., Szczepiński W., *Rachunek błędów dla inżynierów*. Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 2004.
5. Morrisom D.F.: *Wielowymiarowa analiza statystyczna*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1990.
6. Startek M.: *Podstawy rachunku prawdopodobieństwa z elementami statystyki matematycznej*. Wydawnictwa Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2005.

THE DEFINITION THE OPTIMUM ORIENTATION THE GRIPPER OF ROBOT

It the results of measurements in article were introduced was and the statistical investigations of mistake of repeatability the gripper of robot. It the mathematical model was proposed was the giving the possibility of definition of optimum orientation gripper also, assuring the the best parameters of process of breeding of part the as well as maximum probability of assembly of cylindrical parts

Tadeusz KOWALSKI
Marian NIEDBAŁA
Politechnika Warszawska,
Warszawa, Polska
CBKO sp. Z o.o.,
Pruszków, Polska

MODUŁ AUTOMATYZUJĄCY PODAWANIE I MAGAZYNOWANIE PRZEDMIOTÓW OBRABIANYCH NA CENTRUM TOKARSKIM

A MODULE FOR AUTOMATION OF HANDLING AND STORING OF WORKPIECES ON A CNC LATHE

W precyzyjnej tokarce CNC Venus 350L zastosowano silnik liniowy w osi X [1]. Dzięki temu uzyskano w stosunku do typowego napędu osi X:

- znacząco krótsze czasy dojazdu ruchów szybkich niż w typowym rozwiązaniu ze śrubą kulową (od 25 do 50%),
 - sztywność napędu w kierunku X jest do 10 razy lepsza oraz stała na całej długości przemieszczeń,
 - luz zwrotny jest mniejszy niż $0,5 \mu\text{m}$,
 - dokładność i powtarzalność pozycjonowania osi jest znacznie lepsza, oraz stała w czasie (brak zużywających się części trących przenoszących siły),
 - przy zastosowanym układzie chłodzenia, oś jest praktycznie niewrażliwa na odkształcenia cieplne.
- Wymienione zalety powodują, że przy zastosowaniu silnika liniowego w osi X można uzyskać:
- wyższą dokładność i powtarzalność obróbki średnic, w detalu stalowym uzyskano w stanie nagrzanym wrzeciona powtarzalność wykonywanych średnic w $2 \mu\text{m}$ (dla 8 kolejnych detali),
 - wyższą gładkość powierzchni ($R_a = 0,22 \mu\text{m}$ głównie dzięki podwyższonej sztywności),
 - krótsze czasy obróbki tego samego detalu.

Dalsza modernizacja obejmuje rozbudowę konstrukcji tokarki o manipulator podawania i odbierania przedmiotów obrabianych oraz magazyn tych przedmiotów. Te urządzenia, rozszerzające zakres możliwości maszyny, mechanizują i automatyzują czynności pomocnicze obróbki przedmiotów. Do sterowania takiego zestawu konstrukcyjnego tokarki wytypowano układ sterowania nowej generacji, który pojawił się na rynku w 2007 roku i jest zaliczany do sterowników ekonomicznych. Dotychczas właściwości takie posiadał układ sterowania, którego cena była znacznie wyższa.

MANIPULOWANIE I MAGAZYNOWANIE PRZEDMIOTAMI OBRABIANYM

Manipulowanie przedmiotami obrabianymi w dowolnych systemach wytwarzania polega na przemieszczaniu z magazynu przedmiotów na środek transportu oraz z środka transportu na obrabiarkę i z powrotem. Jeżeli przedmiot z magazynu jest bezpośrednio umieszczony na obrabiarce to manipulator pełni również rolę środka transportu i układ się upraszcza. W tego typu czynnościach pojawia się problem identyfikacji i położenia przedmiotu oraz automatyzacji chwytania.

Manipulowanie przedmiotami obrotowo symetrycznymi transportowanymi pojedynczo może być realizowane trzema sposobami [2,3]:

- za pomocą manipulatorów zintegrowanych z obrabiarką,
- za pomocą robotów wolno stojących,
- za pomocą manipulatorów bramowych usytuowanych ponad obrabiarką.

W manipulatorach zintegrowanych z obrabiarką pozycja wymiany przedmiotu jest stała i odpowiednią elastyczność musi zapewnić magazyn przedmiotów. Roboty wolno stojące pomimo dużej elastyczności są niewygodne w obsłudze i blokują dostęp do obrabiarki.

Manipulatory bramowe dzielą się na powierzchniowe i liniowe. Manipulatory bramowe liniowe mają dwie liniowe osie sterowane: wzdłuż bramy i w pionie. Manipulatory te współpracują z magazynami przedmiotów, które podprowadzają przedmiot do miejsca wymiany.

Zalety manipulatorów bramowych to:

- duży udźwąg (350-500kg),
- duży zakres przesuwów (do 10 m),
- duża prędkość przesuwu liniowego (1-2 m/s),
- duża dokładność pozycjonowania (0,025-0,25 mm),
- budowa modułowa

Podstawowym problemem manipulatorów bramowych jest konstrukcja chwytaka. Chwytnak musi zapewnić oprócz jednoznaczności i powtarzalności uchwycenia dużą siłę zacisku, oraz zapewnić uchwycenie przedmiotów w dużym zakresie wymiarów średnicowych.

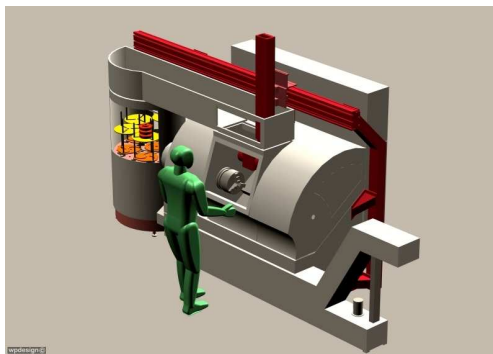
O rozwiązaniu konstrukcyjnym magazynów przedmiotów decydują kształt, wymiary i masa przedmiotu obrabianego. Kryterium podziału magazynów dla przedmiotów obrotowo symetrycznych [3] jest możliwość ruchu przedmiotów w obrębie magazynu. Urządzeniami realizującymi funkcje magazynu mogą być: stół obrotowo podziałowy, paleta jednopredmiotowa, paleta do układania w stosy, paleta szufladowa, nieruchomy magazyn z obiegiem przedmiotów i ruchomy magazyn z obiegiem przedmiotów.

Palety wielopredmiotowe są preferowane w połączeniu z manipulatorami powierzchniowymi, zaś magazyny z obiegiem palet oraz magazyny tarczowe cechują się małą wydajnością. Na uwagę zasługują magazyny piętrowe (karuzelowe), gdyż są wygodne w obsłudze. Ważnym kryterium wyboru magazynu przedmiotów jest również możliwość jego usytuowania blisko obrabiarki ze względu na urządzenia podająco-transportujące.

KONCEPCJA MODUŁU

Istota koncepcji rozbudowy precyzyjnej tokarki Venus 350L polega na:

- zastosowaniu manipulatora bramowego mocowanego do podstawy tokarki, co eliminuje kłopotliwe fundamentowanie elementów belkowania, a także pozwala na swobodne przestawianie tokarki,
- ograniczeniu do minimum osłon przestrzeni niebezpiecznych dla operatora,
- obudowanie magazynu przedmiotów w sposób umożliwiający pracę ręczną oraz cykl automatycznego magazynowania.



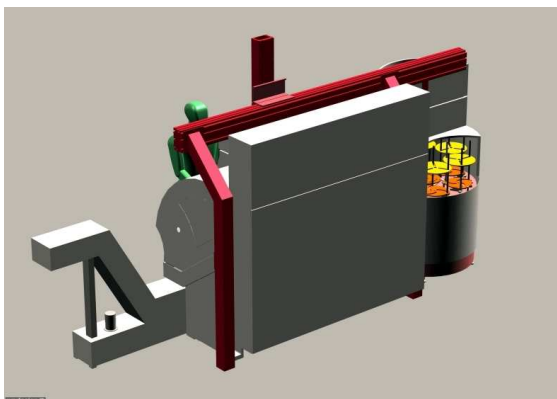
Rys. 1. Widok perspektywny 1 z przodu manipulatora i magazynu tokarki Venus 350



Rys. 2. Widok perspektywiczny 2 z tyłu manipulatora i magazynu tokarki Venus 350

Manipulator bramowy przeznaczony jest do podawania i odbioru przedmiotów obrabianych typu tarcza o średnicach w zakresie 60 -200 mm i maksymalnej masie 15 kg. Elementy konstrukcyjne to aluminiowe kształtowniki i stalowe profile zamknięte. Ruchy urządzenia realizowane są przez suport pionowy oś Y i suport poziomy oś X, oraz obrotową głowicę wyposażoną w dwa trójszczękowe chwytaki, pierwszy współpracuje przy mocowaniu przedmiotu obrabianego, a drugi przy odmocowaniu przedmiotu obrabianego.

Magazyn karuzelowy sześciogniazdowy charakteryzuje się zwartą budową (1100 x 1100 x 1400 mm). Maksymalna wysokość stosu przedmiotów na paletce wynosi 400 mm. Przedmioty zmagazynowane w jednym gnieździe nie mogą przekraczać 15 kg. Wszystkie gniazda wyposażone są w pionowe ograniczniki ustalające położenie przedmiotów na paletach. Do wykonania ruchu obrotowego stosuje się sześciopozycyjny stół obrotowy. Załadunek i rozładunek przedmiotów obrabianych do magazynu odbywa się ręcznie.



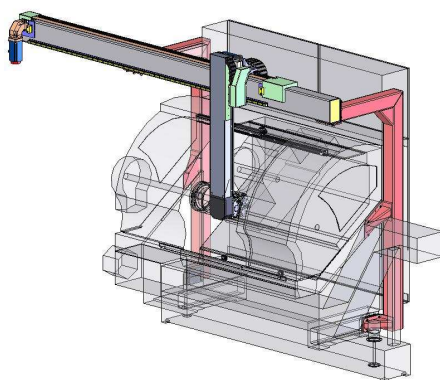
Rys. 3. Widok perspektywiczny 3 z tyłu manipulatora i magazynu tokarki Venus 350

Do sterowania układu w przedstawionej konfiguracji można zastosować typowy układ sterowania dostępny po 2007 roku. Dla układu tokarka Venus 350, manipulator i magazyn wykonywane są dwa programy tech-

nologiczne równocześnie: oprogramowanie obróbki oraz ruch manipulatora i magazynu. Dobór napędów i silników powinien zapewnić możliwość wyodrębnienia magazynu z przedstawionego układu jako samodzielnego modułu realizującego funkcje magazynowe.

ROZWIĄZANIE KONSTRUKCYJNE MODUŁU

W manipulatorze bramowym przesuw suportu pionowego w osi Y (rys. 4) realizowany jest przez obracającą się nakrętkę przekładni śrubowej tocznej przymocowanej do korpusu suportu osi X oraz nieruchomej śruby tocznej (K32x10) zamocowanej dwustronnie do korpusu suportu osi Y. Łożysko INA zamocowano od strony napędu i przenosi siły w obu kierunkach. Silnik serwonapędowy o parametrach $M = 8 \text{ Nm}$ i $n = 4000 \text{ obr/min}$ jest przymocowany do suportu osi X. Napęd z silnika na nakrętkę śruby przenoszony jest przez zębatą przekładnię pasową. Suport przesuwa się w prowadnicach tocznych wielkość 15.



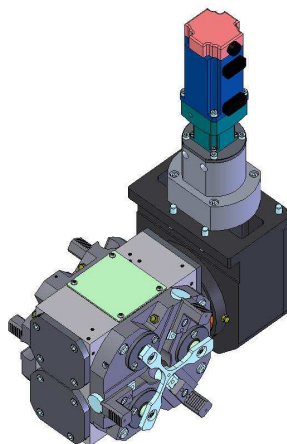
Rys. 4. Schemat kinematyczny manipulatora

Przesuw suportu poziomego oś X (rys. 5) realizowany jest przy pomocy zębatej przekładni pasowej. Końce pasa tej przekładni zamocowane są do korpusu suportu poziomego. Silnik serwonapędowy o charakterystyce jak przy osi Y jest przymocowany z użyciem płyty mocującej do podstawy prowadnic suportu osi X. Napęd z silnika na koło napędowe przenoszony jest przez zębatą przekładnię pasową. Suport przesuwa się w prowadnicach tocznych wielkość 25.



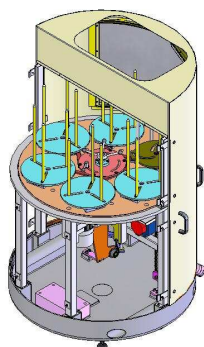
Rys. 5. Widok manipulatora bramowego

Obrót głowicy oś Z realizowany jest przez zębatą przekładnię pasową. Motoreduktor o przełożeniu 1/100 jest zamocowany przy użyciu płyty mocującej do podstawy prowadnic suportu osi Y. Szczęki głowicy uruchamia mechanizm krzywkowy napędzany siłownikami pneumatycznymi wbudowanymi w korpus głowicy (rys. 6). Głowica wyposażona jest również w pneumatyczny wypychacz transportowanych przedmiotów obrabianych. Skok szczęk głowicy wynosi 28 mm, możliwa jest wymiana szczęk dla przedmiotów o większej średnicy.



Rys. 6. Głowica manipulatora bramowego

W magazynie karuzelowym (rys.7) do wykonania ruchu obrotowego płyty głównej zastosowano gotowy moduł napędowy, jakim jest sześciopozycyjny stół obrotowy. Dwa gniazda, które znajdują się w obszarze działania manipulatora wyposażono w niezależne podnośniki palet umożliwiające zaprogramowanie poziomu, z którego są odbierane i podawane kolejne przedmioty.



Rys. 7. Widok magazynu karuzelowego

WNIOSKI

Przestrzeń robocza obrabiarki powinna być na tyle otwarta, ażeby możliwe było podawanie przedmiotu od góry i pionowo, należy zapewnić jeden kierunek podawania. Możliwe wówczas staje się użycie prostszego kinematycznie manipulatora liniowego a nie powierzchniowego.

- Elementy korpusu obrabiarki powinny być tak ukształtowane, ażeby można było bezpośrednio do nich przymocować słupy manipulatora bramowego. Wówczas cała konstrukcja jest zwarta i jednolita i nie ma potrzeby ustawiania manipulatora względem obrabiarki przy innym posadowieniu maszyny.

- Rozwiązanie konstrukcyjne obrabiarki i przyszłych urządzeń dodatkowych nie mogą przytłaczać i ograniczać pozycji operatora. Operator pomimo urządzeń wspomagających jest cały czas obecny przy maszynie.

LITERATURA

1. Kowalski T., Niedbała M.: Montaż silników liniowych w obrabiarkach i maszynach technologicznych. *Technologia i Automatyzacja Montażu*. Kwartalnik naukowo-techniczny ISDN 1230-7661 nr 2, 2008, s. 24 -27
2. Kosmol J.: *Automatyzacja obrabiarek i obróbki skrawaniem*. WNT Warszawa 2000
3. Kusyk A., Bacia A., Brewiński J.: Przepływ przedmiotów obrabianych i narzędzi w ASO. *Mechanik* nr 4, 1988, s. 149-155

A MODULE FOR AUTOMATION OF HANDLING AND STORING OF WORKPIECES ON A CNC LATHE.

Feasibility study of a CNC lathe expansion by adding a module for automation of auxiliary operations. Design of a gantry loader and a rotary storage unit for workpieces. Required modifications for the CNC lathe in order to install the loader and storage unit. Guidelines for CNC machine tool design regarding auxiliary equipment expansion.