ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1980

Seria: AUTOMATYKA z. 55 Nr kol. 651

Henryk Kowalowski,
Aleksander Staszulonek

Politechnika Śląska

ANALIZA MOŻLIWOŚCI I PROPOZYCJE ROZWIĄZANIA ROBOTYZACJI PROCESU KUCIA MATRYCOWEGO NA GORĄCO NA PRZYKŁADZIE ZAKŁADU NR 4 FSM W SKOCZOWIE

Streszczenie. W pracy dokonano identyfikacji technologii procesów kucia pod względem możliwości ich robotyzacji i sformułowano kryteria oceny podatności gniazd kuźniczych na robotyzację.
Na podstawie sformułowanych kryteriów wybrano gniazda kuźnicze, w których zastosowanie robotów jest możliwe. Dokonano analizy ekonomicznej robotyzacji wybranych gniazd oraz opracowano projekt wstępny wdrożenia. Wyniki analiz i propozycje rozwiązania przedstawiono w pracy.

1. Wstęp

Obserwowany rozwój technologii dyskretnych procesów produkcyjnych zmierza wyraźnie w kierunku ich automatyzacji, gdzie manipulowanie przedmiotami obróbki oraz narzędziami zostaje przeniesione z czynności wykonywanych ręcznie na czynności wykonywane maszynowo w zamkniętym cyklu automatycznym. W rozwoju tym roboty przemysłowe /RP/ stanowią własne urządzenia pozwalające na zastąpienie w procesie produkcyjnym pracy ręcznej, pracą zmechanizowaną. Prowadzono ostatnio liczne poważne prace naukowo-badawcze w dziedzinie robotyki wskazały na uzasadnione możliwości stosowania RP w rozlicznych procesach produkcyjnych.
Najczęściej dotyczy to takich procesów, jak: załadowanie i rozładowanie maszyn i urządzeń transportu międzyoperacyjnego, prac składowania /paletyzacja/, montażu podzespołów, spawania punktowego i łukowego, kucia, tłoczenia czy malowania wyrobów.

Procesy kuźnicze charakteryzują się niezwykle trudnymi warunkami pracy wynikającymi z charakteru maszyn i urządzeń oraz złożonej technologii produkcji.
Podstawowymi czynnikami wpływającymi na ciężkie warunki, bezpieczeństwo pracy oraz wydajność i jakość procesów kuźniczych są: hałas, temperatura, drgania mechaniczne oraz monotonia wykonywanych czynności. Maksymalna wartość natężenia hałasu dopuszczana przez normy BHP wynosi 90 dB, podczas gdy na oddziałach młotów, pras czy kuźniarek natężenie hałasu

przekracza 120 dB. Temperatura powietrza dochodzi lokalnie do 60°C,przy czym powietrze to jest skażone gazami szkodliwymi dla zdrowia i silnie zapylone. Odkuwki są produkowane przeważnie w długich seriach, co czyni pracę monotonną. Wszystko to pociąga za sobą dużą wypadkowość przy pracy, dużą fluktuację pracowników Kuźni oraz częste absencje chorobowe.

Z drugiej strony RP osiągnęły obecnie poziom rozwoju uzasadniający wydzielenie ich jako osobną grupę stosowanych autonomicznie urządzeń technicznych.

Z najważniejszych własności współczesnych RP wyróżnimy:

- dużą, do 10, liczbę stopni swobody,
- otwarty łańcuch kinematyczny części manipulacyjnej, złożony z szeregowo połączonych ogniw elementarnych,
- autonomiczność pozwalającą sprawnie włączać RP w tok realizacji procesów produkcyjnych.

Wymienione własności oraz charakter procesów kucia uzasadniają potrzebę podjęcia badań nad zastosowaniem RP w Zakładach Kuźniczych.
Podjęta praca przedstawia niektóre wyniki przeprowadzonych analiz możliwości robotyzacji gniazd kuźniczych,uwzględniające aspekty ekonomiczne, a także koncepcję wstępnego projektu robotyzacji wybranego na skutek tej analizy gniazda kuźniczego.

2. Identyfikacja procesów kuźniczych na przykładzie Zakładów Kuźniczych FSM w Skoczowie

Zakłady Kuźnicze w Skoczowie produkują bardzo szeroki /ok. 400/ asortyment odkuwek o długościach serii od kilku do kilkaset tysięcy sztuk. Podstawowe wydziały kuźni to: krajalnia, oddziały młotów, pras, kuźniarek, obróbki cieplnej oraz wykańczalnia. Ogólna liczba maszyn i urządzeń przekracza 130 agregatów. Szczegółowy opis struktury Kuźni podano w [6].

Proces kucia na gorąco jest rodzajem obróbki plastycznej, którego produkt finalny tzw. odkuwki stanowią detale o określonym kształcie uzyskanym przez odwzorowanie w metalu wykroju roboczego matrycy, odpowiadającego żądanemu kształtowi detalu.

Zależnie od rodzaju użytych maszyn można wyróżnić:

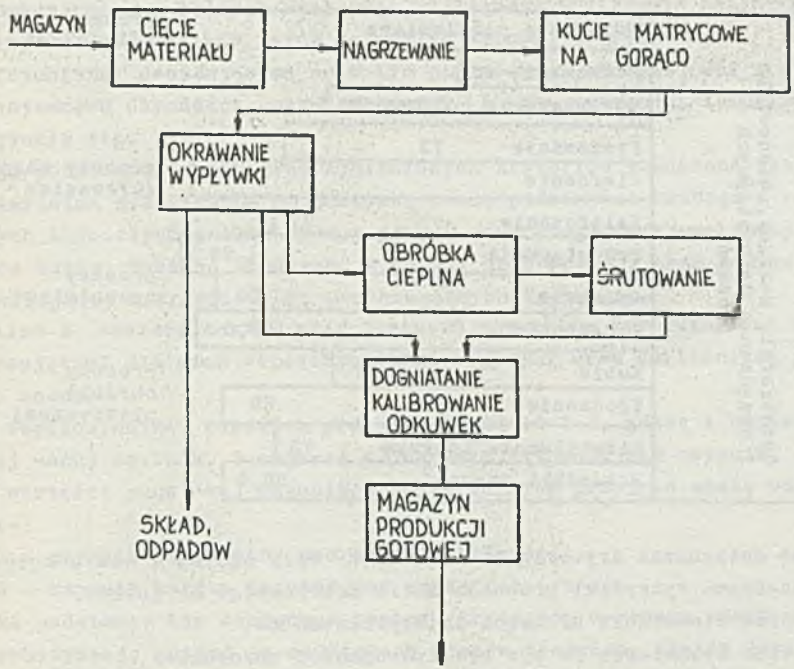
- kucie matrycowe na młotach,
- kucie matrycowe na kuźniarkach,
- kucie na prasach korbowych i śrubowych,
- kucie na maszynach specjalnych.

Etapy procesu kucia można podzielić na:

- podstawowe /cięcie materiału, nagrzewanie, kucie na gorąco, okrawanie wypływki/,

- pomocnicze /obróbka cieplna, śrutowanie, dogniatanie, kalibrowanie odkuwek/.

Ogólny schemat technologiczny procesu kucia matrycowego przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Ogólny schemat procesu technologicznego kucia

Na rysunku grubszą linią wyróżniono operację matrycowania, jako szczególnie interesującą z punktu widzenia robotyzacji.

Spośród własności charakteryzujących proces kucia i predestynujących go do robotyzacji należy wyróżnić: gniazdowy system wytwarzania, wymaganą dokładność powtarzania ruchów i operacji oraz długość serii wyrobów i wynikającą stąd monotonię pracy.

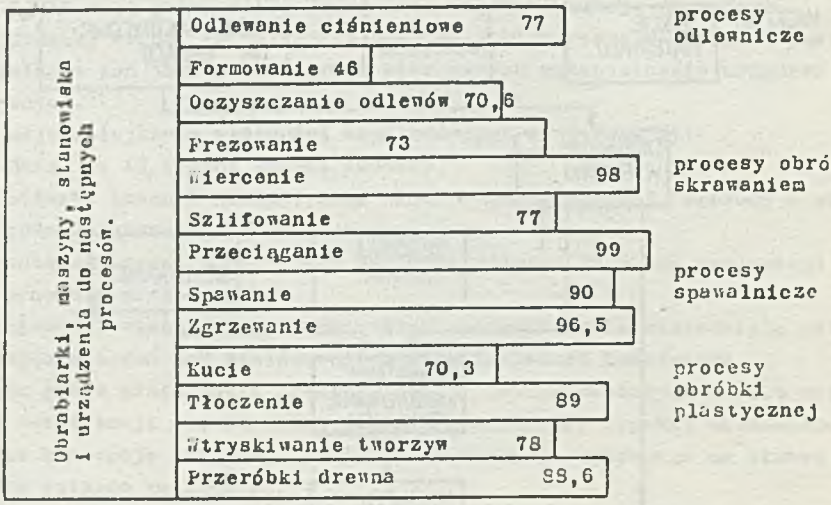
3. Kryteria oceny możliwości robotyzacji gniazda.

Przeprowadzone w literaturze [1],[4] analizy wskazują, że procesy kuźnicze nie należą do procesów łatwo poddających się robotyzacji, ale również nie należą do najtrudniejszych, osiągając w 117 punktowej skali

porównawczej pokazanej w tablicy 1., liczbę 70 punktów. Umiejscawia to proces kucia matrycowego w środkowej grupie procesów średnio podatnych na robotyzację.

Tabl. 1

Podatność na robotyzację wybranych grup procesów



Znane dotychczas kryteria stosowania RP były ogólne i nie uwzględniały szczegółowo specyfiki procesów kucia matrycowego na gorąco.

Kryteria stosowania RP można sklasyfikować na:

- kryteria techniczne /w tym realizowalności wdrożenia/,
- kryteria ekonomiczne,
- kryteria psychologiczno-społeczne.

Kryteria techniczne mają na celu wyeliminowanie tych gniazd produkcyjnych, w których zastosowanie robotów jest technicznie nierealizowalne, a więc nieuzasadnione.

W tej grupie kryteriów uwzględnia się takie czynniki, jak:

1. Możliwości motoryczne robota - szybkość ruchu, liczba stopni swobody, przestrzeń operacyjna manipulatora.
2. Technologia procesu - liczba i rodzaj operacji występujących w procesie, warunki poprawnej realizacji procesu.
3. Możliwość adaptacji istniejącego stanowiska i oprzyrządowania do współpracy z robotem.
4. Warunki otoczenia - drgania podłoża, temperatura, zapylenie, wilgotność powietrza, obecność substancji niszczących elementy robota.

W grupie kryteriów ekonomicznych uwzględnia się taki czynnik, jak: cena odkuwek wykonywanych w poszczególnych gniazdach produkcyjnych,

maksimum czasu niezbędnego do wykonania manipulacji przez RP /czas jednostkowy przy produkcji zautomatyzowanej/, możliwość zwiększenia liczby produkowanych odkuwek, zapotrzebowanie na poszczególne odkuwki, możliwość wyeliminowania importu pewnych asortymentów.

Kryteria psychologiczno-społeczne pozwalają dokonać wyboru gniazd produkcyjnych, w których występują największe obciążenia psychiczne i fizyczne pracowników, oraz uciążliwe warunki pracy.

Czynnikami decydującymi są w tym przypadku: jednostajność i monotonia wykonywanych czynności, waga elementów, hałas, wibracje, temperatura, zapylenie itp.

Na podstawie trzech grup wymienionych kryteriów zbudowano tablicę kryterialną pozwalającą na punktową ocenę podatności każdego z rozpatrywanych kuźniczych gniazd produkcyjnych oraz uwzględniającą specyfikę procesów kucia. Tablicę zbudowano w wersji uproszczonej oraz w wersji pozwalającej rozróżnić wagę poszczególnych kryteriów.
Tablica 2 zawiera zestaw proponowanych czynników kryterialnych wraz z przyjętymi dla nich współczynnikami wagowymi oraz wartościami punktowymi oceny.
Dla współczynników wagowych przyjęto skalę od 1-3, gdzie 1 oznacza najmniej ważny czynnik, 3 oznacza najbardziej liczący się czynnik.
Dla wartości punktowej czynników kryterialnych przyjęto skalę od 0-3, gdzie:

0 - czynnik nieistotny pod kątem robotyzacji

3 - czynnik bardzo istotny pod kątem robotyzacji.

Na podstawie tak dobranego zestawu kryteriów dokonano oceny podatności na robotyzację gniazd na oddziałach młotów średnich, młotów lekkich, pras śrubowych, kuźniarek oraz pras "Maxi".
Oceny dokonano dwukrotnie, raz bez uwzględnienia wagi kryteriów oraz drugi raz - z uwzględnieniem współczynników wagowych. Otrzymano każdorazowo podobną kolejność stanowisk według ich podatności na robotyzację. Wyniki oceny zestawiono w tablicy 3.

Przeprowadzone analizy ukazują, że do robotyzacji najbardziej predestynowane są stanowiska kuźniarki 6" oraz prasy "Maxi" jako stanowiska najbardziej podatne do robotyzacji.

Bardziej szczegółowa analiza technologii wytwarzanych asortymentów oraz struktury wybranych gniazd lit. [6] stworzyła podstawy opracowania wstępnych projektów wdrożenia robotyzacji wymienionych gniazd.

Tablica 2

Lp.	Czynniki kryterialne	Ocena				
		Współ. czynnik wagowy	Wartości punktowe oceny			
			0	1	2	3
1.	Obciążenie psychiczne	1	małe	średnie	duże	b.duże
2.	Obciążenie fizyczne	3	małe	średnie	duże	b.duże
3.	Warunki pracy	2	lekkie	średnie	ciężkie	b.ciężkie
4.	Możliwości motoryczne robota	1		robot złożony	robot prosty	
5.	Technologia procesu	3	b.skomplikowana	skomplikowana	kilka prostych operacji	jedna prosta operacja
6.	Adaptacja urządzeń do współpracy z robotem	2	b.trudna	trudna	niezbyt łatwa	łatwa
7.	Warunki zewnętrzne /otoczenie/		nie pozwalają na zast.robota	trudno zast.		pozwala na zastos.robota
8.	Cena odkuwek	1	mała	średnia	duża	b.duża
9.	Min.czas niezbędny dla wykonania manipulacji przez robota	2	większy od czasu wykonywania przez człowieka	nieporównywalny	mniejszy	dużo mniejszy
10.	Możliwość zwiększenia liczby produkowanych odkuwek	3	nie	mała	średnia	duża
11.	Zapotrzebowanie na odkuwki	3	małe	średnie	duże	b.duże
12.	Możliwości wyeliminowania importu odkuwek	3	nie			tak

Tablica 3

Czynniki kryterialne	Gniazda produkcyjne na oddziale młotów średnich		Gniazda produkcyjne na oddziale młotów lekkich		Gniazda produkcyjne na oddziale pras śrubowych		Gniazda prod. na oddziale kuźniarek		Gniazda prod. na oddz. Pras Maxi	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1.	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
2.	3	9	2	6	2	6	3	9	2	6
3.	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6
4.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5.	1	3	3	9	3	9	1	3	3	9
6.	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
7.	1	3	0	0	0	0	3	9	1	3
8.	3	3	1	1	1	1	3	3	1	1
9.	1	2	0	0	0	0	1	2	1	2
10.	2	6	0	0	0	0	1	2	1	3
11.	3	9	3	9	3	9	3	9	3	9
12.	0	0	0	0	0	0	3	9	0	0
wartości punktowych oceny	22	47	17	37	17	37	27	62	20	45

4. Wybór typu robota

Identyfikacja technologii wykonywania odkuwek w gnieździe kuźniarki 6" oraz prasy"Maxi" umożliwiła sformułowanie kryteriów, w oparciu o które dokonywano wyboru typu robota. Kryteria są następujące:

- wymagany tor ruchu roboczego i możliwość jego realizacji przez robota,
- ciężar przenoszonych detali,
- wymagana liczba punktów zatrzymania,
- pojemność pamięci robota,
- możliwości współpracy robota z urządzeniami w gnieździe,
- możliwość przyjmowania sygnałów z czujników kontrolujących poprawność przebiegu procesu,
- rodzaj, parametry i możliwości programowania układu sterowania robota.

Uwzględnienie kryteriów wyboru typu robota oraz przegląd parametrów technicznych i charakterystyk dostępnych w kraju robotów, dokonany na podstawie danych zawartych w [1], umożliwił podjęcie ostatecznych decyzji o wyborze robota typu IRb-60 jako najlepiej spełniającego wymagania stawiane przez rozpatrywane technologie procesów kuźniczych.

5. Wstępny projekt realizacji wdrożenia - krótka rekapitulacja

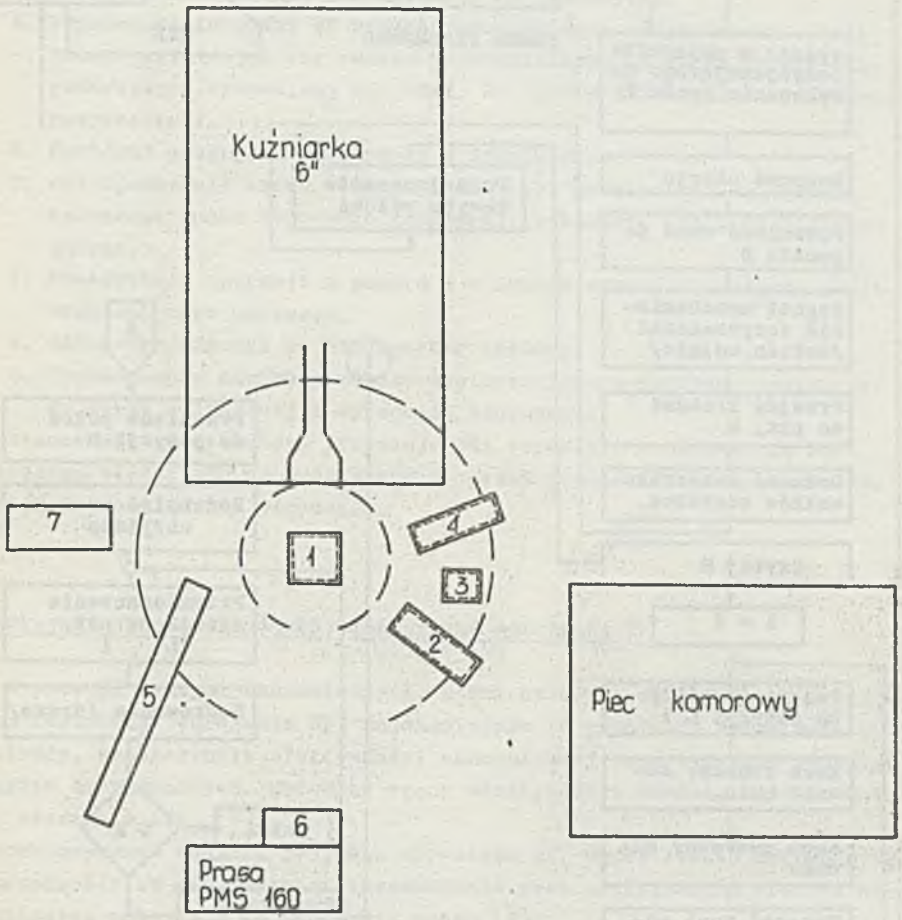
Plan wzajemnego usytuowania agregatów w gnieździe kuźniarki 6" o pionowym podziale matryc wraz z zaznaczeniem stanowiska robota oraz dodatkowego osprzętu pokazuje rys. 2.

W porównaniu z obecnie stosowaną technologią wprowadzono do robotyzowanego gniazda kuźniczego dwa istotne usprawnienia w procesie, a mianowicie: smarowanie matrycy po każdej odkuwce oraz usuwanie zgorzeliny z nagrzanego wsadu. Opracowano dodatkowo projekt pojemnika pozycjonującego wsad, którego rysunku, jak i rysunków innych urządzeń nie zamieszcza się ze względu na ograniczone rozmiary artykułu. Rysunki wraz z bardziej szczegółowymi rysunkami dotyczącymi robotyzacji gniazda prasy "Maxi" znajdują się w raporcie z pracy naukowo-badawczej [6].

Schemat blokowy programu pracy robota w przypadku kucia matrycowego na gorąco półosi pokazuje rys. 3.

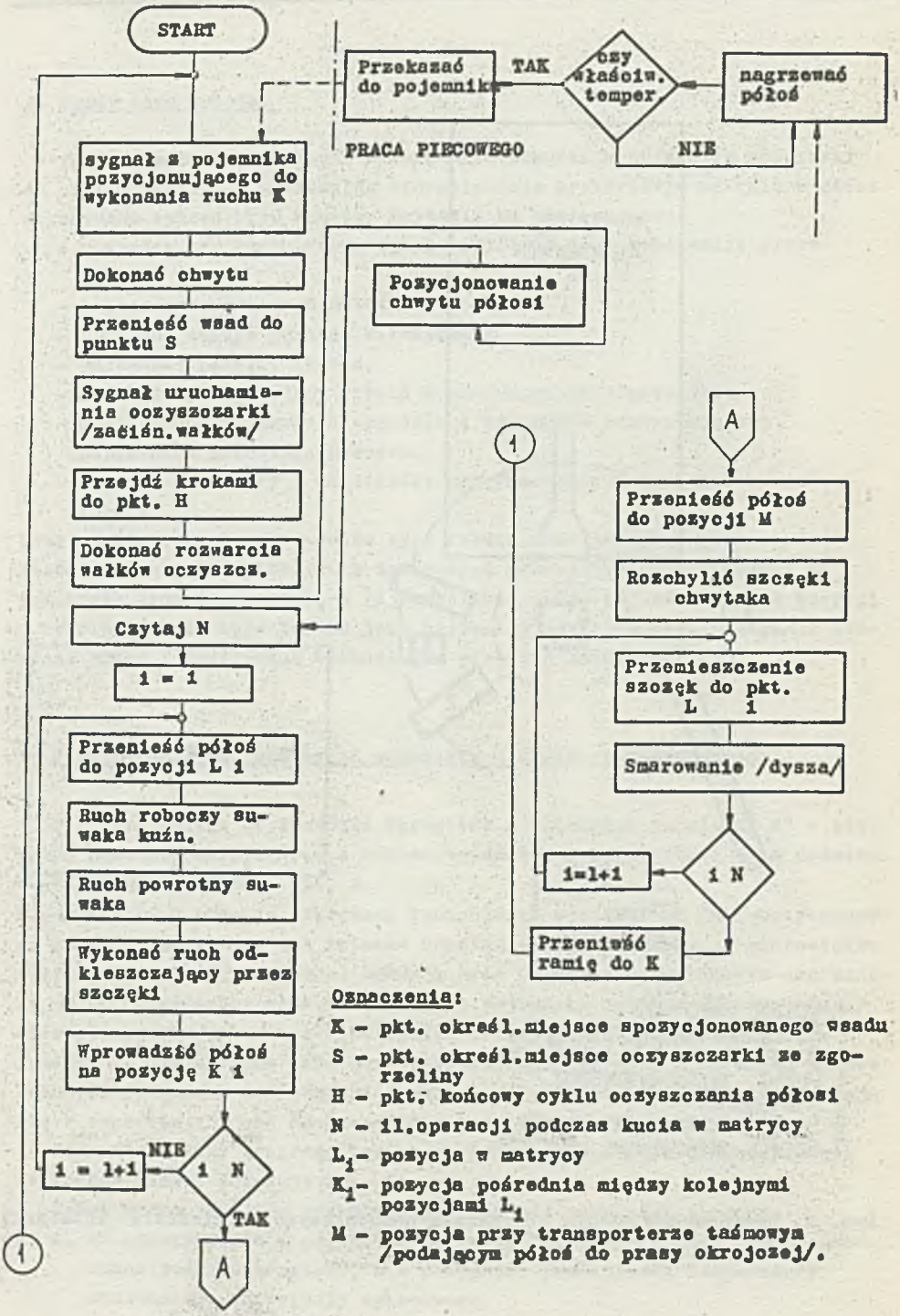
Robot wykonuje w tym przypadku następujące czynności składowe:

1. Po umieszczeniu w pojemniku pozycjonującym nagrzanego wsadu sprawdzana jest temperatura, a w przypadku prawidłowej temperatury uruchamiane są sygnały wykonawcze.



1 Robot JRb-60
2 Podajnik pozycjonujący
3 Oczyszczarka ze zgorzeliny
4 Punkt pozycjonowania
5 Transporter
6 Szafa sterownicza prasy
7 Szafa sterownicza kuźniarki

Rys. 2. Usytuowanie robota i urządzeń pomocniczych w gnieździe kuźniarki 6"



Rys. 3. Schemat blokowy programu pracy robota

2. Pobranie z pojemnika właściwego wsadu.
3. Umieszczenie wsadu w oczyszczarce ze zgorzeliny.
4. Wygenerowanie przez RP sygnału uruchomienia oczyszczarki. Ramię robota poruszając się ruchem prostoliniowym ze stałą prędkością podtrzymuje wysuwający się wsad. Po czasie T następuje wyłączenie oczyszczarki.
5. Powtórne pozycjonowanie wsadu w szczękach.
6. Pozycjonowanie wsadu w wykroju matrycy, generowanie sygnału wykonania ruchu roboczego kuźniarki, wykonanie ruchu odkleszczającego.
7. Powtórzenie operacji z punktu 6 w innych wykrojach matrycy, jeśli zachodzi taka potrzeba.
8. Odłożenie odkuwki na transporter taśmowy.
9. Uruchomienie zaworu przewodu dostarczającego sprężone powietrze do dyszy smarującej i wykonanie smarowania.

Stanowisko pracy robota proponuje się wyposażyć w instalację BHP konieczną ze względu na dużą szybkość pracy robota, dużą masę odkuwek, a więc zagrożenie dla otoczenia.

6. Projektowana efektywność ekonomiczna wdrożenia RP

Z pozycji wymagań ekonomicznych, które należy uwzględnić przed podjęciem realizacji wdrożenia RP, najważniejsze to graniczny okres zwrotu nakładów, współczynnik efektywności ekonomicznej oraz wysokość rocznych efektów ekonomicznych. Metodykę oceny efektywności ekonomicznej rozważa się szeroko w lit. [3].

W rozwiązywanym zadaniu projektu wdrożenia RP, okres zwrotu nakładów T_p w zależności od efektywności inwestowania oraz oczekiwanych efektów ekonomicznych obliczono na podstawie wzoru [3]:

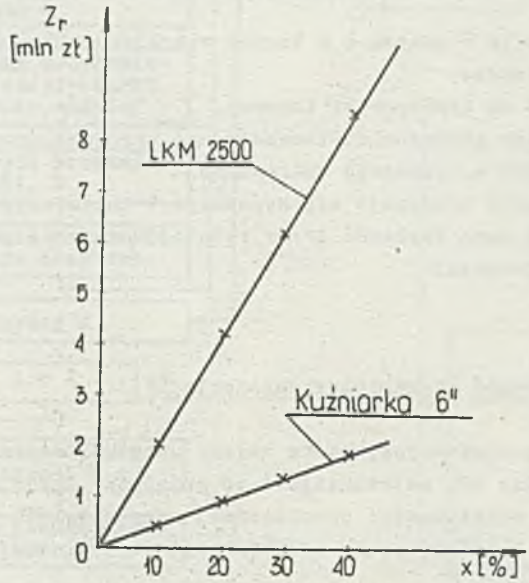
$$T_p = \frac{I}{K} = \frac{/1+i/^n - 1}{\left[/1+i/^{k+1} - 1\right] /1+i/^n}$$

gdzie:

I - nakłady inwestycyjne,
K - efekty roczne na skutek zastosowania RP,
i - stopień efektywności przedsięwzięcia,
n - liczba lat występowania efektów,
k - liczba lat ponoszenia nakładów.

Okres zwrotu nakładów przy przyjęciu do obliczeń niekorzystnych wskaźników stopy dyskontowej i wysokiego współczynnika odpisów amortyzacyjnych

wynosi trzy lata. Obliczona wartość stopnia efektywności przedsięwzięcia /11 %/ jest większa od stopy dyskontowej /9%/, co wskazuje na dopuszczalność podjęcia realizacji wdrożenia RP w procesie kucia matrycowego zarówno na stanowisku kuźniarki 6", jak i prasy MAXI 2500.
Uwzględnienie kosztów jednostkowych produkcji przy zastosowaniu RP, struktury produkowanych asortymentów oraz długości serii pozwala na obliczenie efektów ekonomicznych wdrożenia RP w skali rocznej.
Wielkości uzyskiwanych efektów w zależności od procentowego wzrostu produkcji przedstawia wykres na rys. 4.



Rys. 4. Roczny zysk zakładu Z_r z tytułu zastosowania robota IRb-60 w funkcji wzrostu wydajności o x [%]

Należy podkreślić, że obliczenia nie uwzględniały efektów, które wynikną z poprawy jakości produkcji, oraz zwiększenia żywotności matryc uzyskiwanych dzięki zastosowaniu oczyszczania wsadu ze zgorzeliny i konsekwentnego smarowania matryc po każdym cyklu kucia.

7. Wnioski.

Przeprowadzone identyfikacje procesów kucia i szczegółowe analizy wykazały techniczną realizowalność wdrożenia RP do technologii kuźniczej oraz pozwoliły oszacować roczne efekty ekonomiczne w kwocie równej ok. 2 mln zł przy 30 % wzroście produkcji w przypadku kuźniarki 6" lub 8 mln zł w przypadku prasy "MAXI" 2500. Uzyskanie takiego wzrostu procesu produkcji odkuwek jest całkowicie realne przede wszystkim dzięki pełniejszemu wykorzystaniu czasu pracy urządzeń.

Uzyskanie większych efektów w rozpatrywanej przykładowo Kuźni w Skoczowie jest obecnie niemożliwe ze względu na wystąpienie "wąskiego gardła", jakim jest ograniczona wydajność pieca nagrzewającego wsad oraz ograniczona wydajność kowarki, na której wykonywane są wstępne operacje kucia. Przedstawione projekty wstępne zostały przyjęte do realizacji w Zakładach Kuźniczych FSM w Skoczowie, co nastąpi po zakupie niezbędnego RP.

LITERATURA

[1] Informator - "Produkcja robotów przemysłowych w PRL - stosowanie robotów w przemyśle", wydany przez Ministerstwo Przemysłu Maszynowego, Zjednoczenie Przemysłu Motoryzacyjnego POLMO, Warszawa 1978.

[2] H.J. Leśkiewicz: "Niektóre problemy naukowe robotów przemysłowych". Referaty seminarium "Roboty przemysłowe", Politechnika Warszawska, Instytut Automatyki Przemysłowej, Warszawa 1978.

[3] J. Granicki, M. Olszewski: "Przegląd metod oceny efektywności ekonomicznej zastosowań maszyn manipulacyjnych", Referaty seminarium - "Roboty przemysłowe". Politechnika Warszawska, Instytut Automatyki Przemysłowej, Warszawa 1978.

[4] M. Olszewski: "Techniczno-organizacyjne aspekty zastosowań automatycznych maszyn manipulacyjnych". Referaty seminarium "Roboty przemysłowe".

[5] K. Hoda i inni: "Posobije po primienieniju promyszlennych robotow", Wydawnictwo "MIR", Moskwa 1975.

[6] H. Kowalowski, A. Staszulonek i inni: "Analiza możliwości i projekt robotyzacji wybranych gniazd technologicznych w Zakładach Kuźniczych FSM Skoczów". Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej, Instytut Automatyki, Gliwice 1979.

[7] J. Buda, M. Kovač: "Zastosowanie robotów przemysłowych" Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1979.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ РЕШЕНИЯ РОБОТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕГО МАТРИЦИОВОГО КОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ЗАВОДА ФСМ В СКОЧОВЕ

Р е з ю м е

В работе проведено идентификацию технологии процессов кования и сформулировано критерии оценки возможности применения промышленных роботов. Принимая во внимание сформулированые критерии проведено выбор станции кования, в которых возможно применение промышленных роботов. Сделано экономический анализ применения промышленных роботов и представлено разработанный проект применения. Результаты анализов и предложения решения представлено в работе.

ANALYSIS OF POSSIBILITIES AND PROPOSITIONS FOR THE ROBOT APPLICATION IN THE PROCESS OF FORGING - THE CASE OF FSM SKOCZÓW

S u m m a r y

In the paper the forging process technology identification is performed from the viewpoint of the industrial robot application. The forging stations in which the application of robots is possible are selected on the base of formulated criteria. Economical analysis of robots' application in selected forging stations is performed and the implementation project is elaborated. The results are described in detail in the paper.