ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1978
Seria: Automatyka z. 44 580

Elżbieta Zielińska-Król
Politechnika Śląska

HARMONOGRAMOWANIE PROCESU WALCOWANIA NA WCK

Streszczenie. W referacie przedstawiono algorytm modelowania procesu walcowania na WCK dla celów harmonogramowania produkcji. Na podstawie tego harmonogramu dochodzi się do harmonogramu wymian złożeń. Algorytm oparty jest o opis matematyczny procesu bazujący na koncepcji stanów istotnych. Przyjęto kryterium maksymalizacji wydajności WCK poprzez minimalizację liczby wymian złożeń.

1. Wstęp

Problem optymalizacji procesu walcowania ciągłego kęsów na WCK huty "Katowice" był rozwiązywany w Instytucie Automatyki /były IKiZUAiI/ w latach 1973-1976 w ramach pracy naukowo-badawczej [2].

W procesie walcowania na WCK można wyróżnić pewne charakterystyczne chwile, w których dokonywana jest wymiana zużytych walców. Z tego względu można rozważać sekwencyjny ciąg operacji, których początek i koniec wyznaczają chwile wymian walców. W tak określonym kompleksie operacji [3] należy opisać strukturę i parametry obiektu [4].

W dotychczasowych pracach IA [1] [5] [6] [7] przy analizowaniu jakości walcowania i rozwiązywania zadania maksymalizacji wydajności WCK, poważnym problemem był opis struktury walcowni [1], [8].

2. Opis obiektu i procesu

Walcownia składa się z "I" złożeń walców; na każdym "i-tym" złożeniu znajduje się J/i/ wykrojów "w...". Profilowymiary wykrojów w ramach każdego "i-tego" złożenia mogą być jednakowe lub różne.

Podczas procesu walcowania, każdy kęs jest przepuszczany jednokrotnie przez określony wykrój każdego złożenia. Jeżeli przyjmiemy, że przewalcowanie kęsa przez jeden wykrój stanowi operację elementarną, to dla otrzymania wyrobu finalnego określonego asortymentu, należy wykonać sekwencyjnie "I" operacji elementarnych.

W dalszych rozważaniach założymy, że należy przewalcować zbiór "K" różnych gatunków kęsisk o znanym całkowitym tonażu dla uzyskania odpowiednich asortymentów wyrobów finalnych. Kryterium prowadzenia procesu jest maksymalizacja wydajności WCK, przy zachowaniu wymagań jakościowych wyrobów finalnych. W trakcie prowadzenia procesu walcowania wykroje zużywają się. Dokonuje się wówczas korekcji ustawiania walców, zmienia wykrój na identyczny znajdujący się na tym samym złożeniu lub wymienia całe złożenie. Czasy korekcji walców i zmiany wykroju można w rozważaniach pominąć. Czas wymiany złożenia jest duży więc maksymalizacja wydajności WCK może być sprowadzona do minimalizacji strat czasu na wymiany złożeń. W praktyce, proces należy prowadzić tak, by wymiany złożeń miały miejsce tylko w przypadku gdy nie można walcować żadnego z asortymentów.

Opis matematyczny kompleksu operacji tak prowadzonego procesu walcowania stanowi przedmiot rozważań dalszej części referatu. Przy czym, pod pojęciem operacji rozumie się zbiór operacji elementarnych zawartych pomiędzy dwoma kolejnymi wymianami złożeń. Zatem kompleks ma strukturę szeregową, a kryterium jego optymalizacji jest minimalizacja czasu realizacji wszystkich operacji.

2.1. Struktura obiektu

Strukturę WCK można przedstawić formalnie w postaci tablicy:

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} \cdots & w_{1j} \cdots & w_{1J/1/} \\ \vdots & & \\ w_{i1} \cdots & w_{ij} \cdots & w_{iJ/i/} \\ \vdots & & \\ w_{I1} \cdots & w_{Ij} \cdots & w_{IJ/I/} \end{bmatrix}, \qquad /1/$$

gdzie: w_{ij} - kod "j-tego" wykroju "i-tego" złożenia;

Tablicę /1/ można przedstawić w postaci macierzy o wymiarach:

$$\Pi = I \cdot \max J/i/ \qquad /2/$$

wówczas, dla pewnych wykrojów przyjmujemy kod "0" - co oznacza, że na danym złożeniu ten wykrój nie występuje. Kody wykrojów w tablicy /1/, odpowiadające identycznym wykrojom /w sensie profilowymiaru/ na danym złożeniu - są identyczne.

2.2. Parametry wykrojów

Parametrami wykrojów są wymiary profilu oraz maksymalna liczba ton stali, którą można przewalcować na tym wykroju. Wymiary profilu są związane z kodem wykroju uwzględnionym w strukturze obiektu. Drugi parametr, zwany maksymalną żywotnością wykroju, uwzględniamy w tablicy:

$$G = \begin{bmatrix} g_{11} \cdots & g_{1j} \cdots & g_{1J/1/} \\ \vdots & & \\ g_{i1} \cdots & g_{ij} \cdots & g_{iJ/i/} \\ \vdots & & \\ g_{I1} \cdots & g_{Jj} \cdots & g_{IJ/I/} \end{bmatrix}, \qquad /3/$$

gdzie: g_{ij} - maksymalna żywotność "j-tego" wykroju na "i-tym" złożeniu.

Tablicę /3/ również można przedstawić w postaci macierzy.

2.3. Asortyment i tonaż zamówień

Asortyment i tonaż zamówień określimy w postaci macierzy

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} \cdots & x_{12} \\ \vdots & \\ x_{k1} \cdots & x_{k2} \\ \vdots & \\ x_{K1} \cdots & x_{K2} \end{bmatrix}, \qquad /4/$$

gdzie: x_{k1} - kod "k-tego" asortymentu;
x_{k2} - tonaż "k-tego" asortymentu.

Zakładamy, że macierz /4/ zawiera informacje o zbiorze kęsisk, które znajdują się przed WCK i mają być przewalcowane.

2.4. Ciągi elementarnych operacji technologicznych

Każde kęsisko, należące do "k-tego" asortymentu, musi być przewalcowane na każdym złożeniu przez odpowiedni wykrój, by otrzymać produkt finalny o zadanych wymiarach. Zatem dla każdego "k-tego" asortymentu dany jest odpowiedni ciąg operacji elementarnych. Zbiór tych ciągów można przedstawić w postaci macierzy:

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & \cdots & c_{1k} & \cdots & c_{1K} \\ \vdots & & & & \\ c_{i1} & \cdots & c_{ik} & \cdots & c_{iK} \\ \vdots & & & & \\ c_{I1} & \cdots & c_{Ik} & \cdots & c_{IK} \end{bmatrix}, \qquad /5/$$

gdzie: c_{ik} - kod "i-tego" z kolei wykroju w procesie walcowania kęsa "k-tego" asortymentu;

2.5. Agregacja struktury WCK

Na każdym "i-tym" złożeniu może znajdować się co najwyżej "K" różnych wykrojów. Agregacją struktury WCK nazwiemy procedurę wyznaczania wykrojów zastępczych, dla grup identycznych wykrojów na tym samym złożeniu. Strukturę zagregowaną WCK można przedstawić w postaci tablicy:

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & \cdots & v_{1\varkappa} & \cdots & v_{1K/1/} \\ \vdots & & & & \\ v_{i1} & \cdots & v_{i\varkappa} & \cdots & v_{iK/i/} \\ \vdots & & & & \\ v_{I1} & \cdots & v_{I\varkappa} & \cdots & v_{IK/I/} \end{bmatrix}, \qquad /6/$$

gdzie: $v_{i\varkappa}$ - kod "$\varkappa$-tego" zagregowanego wykroju na "i-tym" złożeniu.

Elementy tablicy /6/ wyznaczamy na podstawie tablicy /1/:

$$\bigvee_{1 \leqslant \nu_1/i/ \leqslant J/i/} \; \bigwedge_{1 \leqslant \nu \leqslant \nu_1/i/} \; \bigwedge_{\nu_1/i/ < \mu \leqslant J/i/} \left[/w_{i\nu} = w_{i\nu_1/i/} \wedge /w_{i\mu} \neq w_{i\nu_1/i/} \right] \Longrightarrow /v_{i1} = w_{i\nu_1/i/} \qquad /7a/$$

. . . . . .

$$\bigvee_{\nu_{\varkappa-1}/i/ < \nu_\varkappa/i/ \leqslant J/i/} \; \bigwedge_{\nu_{\varkappa-1}/i/ \leqslant \nu \leqslant \nu_\varkappa/i/} \; \bigwedge_{\nu_\varkappa/i/ < \mu \leqslant J/i/} \left[/w_{i\nu} = w_{i\nu_\varkappa/i/} \wedge /w_{i\mu} \neq w_{i\nu_\varkappa/i/} \right] \Longrightarrow /v_{i\varkappa} = w_{i\nu_\varkappa/i/} \qquad /7b/$$

. . . . . .

$$\bigvee_{\nu_{K/i/-1}/i/ < \nu_{K/i/}/i/ \leqslant J/i/} \quad \bigwedge_{\nu_{K/i/-1}/i/ \leqslant \nu \leqslant \nu_{K/i/}/i/}$$

$$\bigwedge_{\nu_{K/i/}/i/ < \mu \leqslant J/i/} \left[/w_{i\nu} = w_{i\nu_{K/i/}/i/} / \wedge / w_{i\mu} \neq w_{i\nu_{K/i/}/i/} / \right] \Longrightarrow$$

$$\Longrightarrow \left[/v_{iK/i/} = w_{i\nu_{K/i/}/i/} / \right] \qquad /7c/$$

lub ogólnie:

$$\bigwedge_{1 \leqslant i \leqslant I} \quad \bigwedge_{1 < \varkappa \leqslant K/I/} \quad \bigvee_{\nu_{\varkappa-1}/i/ < \nu_{\varkappa}/i/ \leqslant J/i/} \quad \bigwedge_{\nu_{\varkappa-1}/i/ < \nu \leqslant \nu_{\varkappa}/i/}$$

$$\bigwedge_{\nu_{\varkappa}/i/ < \mu \leqslant J/i/} \left[/w_{i\nu} = w_{i\,\nu_{\varkappa}/i/} / \wedge / w_{i\mu} \neq w_{i\,\nu_{\varkappa}/i/} / \right] \Longrightarrow$$

$$\Longrightarrow /v_{i\varkappa} = w_{i\,\nu_{\varkappa}/i/} / \qquad /8/$$

Algorytm /8/ jest łatwy w realizacji programowej dla maszyny cyfrowej. Zapis formalny /6/ oznacza przepisanie z tablicy /1/ do tablicy /6/ tylko nieidentycznych kodów wykrojów.

2.6. Parametry zagregowanych wykrojów

Kody zagregowanych wykrojów można określić na podstawie algorytmu /8/. Modyfikacji ulegają również maksymalne żywotności wykrojów przedstawione w tablicy /3/. Z uwagi na /8/ i /3/, otrzymamy tablicę "H".

$$H = \begin{bmatrix} h_{i1} & \cdots & h_{i\varkappa} & \cdots & h_{iK/i/} \\ \vdots & & & & \\ j_{i1} & \cdots & h_{i\varkappa} & \cdots & h_{iK/i/} \\ \vdots & & & & \\ h_{I1} & \cdots & h_{I\varkappa} & \cdots & h_{IK/I/} \end{bmatrix} \qquad /9a/$$

o elementach:

$$\bigwedge_{1 \leqslant i \leqslant I} \quad \bigwedge_{1 \leqslant \varkappa < K/i/} h_{i\varkappa} = \sum_{j = \sum_{\xi=1}^{\xi=\varkappa-1} \nu_{\xi}/i/+1}^{\sum_{\xi=1}^{\xi=\varkappa} \nu_{\xi}/i/} g_{ij} \qquad /9b/$$

$$\text{gdzie: } \bigwedge_{i} v_o/i/ = 0 ;$$

czyli maksymalne żywotności wykrojów zagregowanych "h_{ix}" są odpowiednimi sumami maksymalnych żywotności wykrojów z tablicy /3/.

2.7. Dekompozycja struktury WCK

Z punktu widzenia zagregowanej struktury WCK przedstawionej jako tablica /6/, proces walcowania dowolnego, "k-tego" asortymentu polega na jednokrotnym przewalcowaniu "kęsa" przez jeden i tylko jeden zagregowany wykrój ściśle określony przez macierz /5/. Procedurę wyznaczania ciągu zagregowanych wykrojów, przez które przepuszczane są kęsy "k-tego" asortymentu w procesie walcowania - nazwiemy dekompozycją struktury WCK. Otrzymamy w ten sposób macierz:

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & \dots & d_{1k} & \dots & d_{1K} \\ \vdots & & & & \\ d_{i1} & \dots & d_{ik} & \dots & d_{ik} \\ \vdots & & & & \\ d_{I1} & \dots & d_{Ik} & \dots & d_{IK} \end{bmatrix} ; \qquad /10/$$

gdzie: d_{ik} - kod "i-tego" profilowymiaru kolejnego zagregowanego wykroju w ciągu realizacji "k-tego" asortymentu.

Zauważymy, że /10/ i /5/ są identyczne, zatem w wyniku agregacji i dekompozycji struktury WCK dochodzimy do ciągów elementarnych operacji technologicznych. W programie na maszynę cyfrową macierz /5/ jest macierzą danych, natomiast macierz /10/ jest pomocniczą macierzą w trakcie obliczeń.

2.8. Parametry wykrojów zdekomponowanej struktury WCK

W zdekomponowanej strukturze /10/ występują kody wykrojów zagregowanych, o parametrach /9/, zatem możemy napisać:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1k} & \dots & a_{1K} \\ \vdots & & & & \\ a_{i1} & \dots & a_{ik} & \dots & a_{iK} \\ \vdots & & & & \\ a_{I1} & \dots & a_{Ik} & \dots & a_{IK} \end{bmatrix} ; \qquad /11/$$

gdzie: a_{ik} - maksymalna żywotność "i-tego" wykroju dla "k-tego" asortymentu zdekomponowanej struktury;

Elementy tej macierzy wyznaczamy z warunku:

$$\bigvee_{1 \leqslant i \leqslant I} \; \bigvee_{1 \leqslant k \leqslant K} \; \bigvee_{1 \leqslant x \leqslant K/i/} /d_{ik} = v_{ix}/ \Longrightarrow /a_{ik} = h_{ix}/ \qquad /12/$$

W ten sposób na podstawie struktury WCK /1/ i parametrów wykrojów /3/ można określić maksymalne żywotności /11/ wykrojów w strukturze po agregacji i dekompozycji.

3. Stan walcowni

Stan WCK przedstawimy formalnie, wprowadzając kolejno określenia:

Określenie 1. Stan wykroju

Stanem "p_{ij}" wykroju "w_{ij}" nazywamy liczbę ton materiału odwalcowanego na tym wykroju, po ostatniej wymianie "i-tego" złożenia.

Określenie 2. Stan złożenia

Stanem "i-tego" złożenia nazywamy wektor:

$$P_i = \left[p_{i1}, \ldots, p_{ij}, \ldots p_{iJ/i/} \right] \qquad /13/$$

$$i=1, \ldots, I$$

Określenie 3. Stan walcowni

Stanem walcowni nazywamy macierz:

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} \ldots p_{1j} \ldots p_{1J/1/} \\ \vdots \\ p_{i1} \ldots p_{ij} \ldots p_{iJ/i/} \\ \vdots \\ p_{I1} \ldots p_{Ij} \ldots p_{IJ/I/} \end{bmatrix}, \qquad /14/$$

gdzie: $\bigwedge_{1 \leqslant i \leqslant I} \bigwedge_{1 \leqslant j \leqslant J/i/} 0 \leqslant p_{ij} \leqslant J_{ij}$ /15/

Uwzględniając agregację struktury, możemy stan "P" przedstawić w postaci stanu "R" walcowni po agregacji:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} \ldots r_{1x} \ldots r_{1K/1/} \\ \vdots \\ r_{i1} \ldots r_{ix} \ldots r_{iK/i/} \\ \vdots \\ r_{I1} \ldots r_{Ix} \ldots r_{IK/I/} \end{bmatrix}, \qquad /16/$$

gdzie: r_{ix} - stan "x-tego" zagregowanego wykroju na "i-tym" złożeniu;

Stan "R" wyznaczamy następująco:

$$\bigwedge_{1 \leqslant i \leqslant I} \bigwedge_{1 \leqslant x \leqslant K/i/} r_{ix} = \sum_{j=\sum_{\xi=0}^{\xi=x-1} \nu_\xi /i/}^{j=\sum_{\xi=0}^{\xi=x} \nu_\xi /i/} p_{ij} \qquad /17/$$

gdzie: $\bigwedge_{i} \nu_0/i/=0$;

Z kolei uwzględniając dekompozycję zagregowanej struktury, otrzymamy stan "S" walcowni po agregacji i dekompozycji:

$$S = \begin{bmatrix} s_{11} & \cdots & s_{1k} & \cdots & s_{1K} \\ \vdots & & & & \\ s_{i1} & \cdots & s_{ik} & \cdots & s_{iK} \\ \vdots & & & & \\ s_{I1} & \cdots & s_{Ik} & \cdots & s_{IK} \end{bmatrix}, \qquad /18/$$

gdzie: s_{ik} – stan "i-tego" kolejnego zagregowanego wykroju dla "k-tego" asortymentu.

Stan "S" wyznaczamy z warunku:

$$\bigwedge_{1 \leqslant i \leqslant I} \; \bigvee_{1 \leqslant k \leqslant K} \; \bigvee_{1 \leqslant \varkappa \leqslant K/i/} /d_{ik} = V_{i\varkappa} /\Rightarrow/ s_{ik} = r_{i\varkappa}/ \qquad /19/$$

Przed rozpoczęciem procesu walcowania serii /określonej przez /4/ można zidentyfikować jedynie stan /14/, który jest zbiorem danych w programie na maszynę cyfrową. Stan /18/ ułatwia obliczenia.

4. Algorytm modelowania operacji procesu walcowania.

Proces walcowania serii – w sensie zdefiniowanych operacji – jest określony przez ciąg: chwil: $t_0, t_1, \ldots, t_n, \ldots, t_N$, w których należy dokonać wymiany pewnego złożenia, gdyż walcowanie żadnego z asortymentów nie jest możliwe. Załóżmy, że dany jest wektor "T" czasów wymiaru złożeń:

$$T = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \vdots \\ \tau_i \\ \vdots \\ \tau_I \end{bmatrix}, \qquad /20/$$

gdzie: τ_i – czas wymiany "i-tego" złożenia.

Ponadto założymy, że dany jest wektor wydajności walcowania na WCK poszczególnych asortymentów:

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_k \\ \vdots \\ \lambda_K \end{bmatrix}, \qquad /21/$$

gdzie: λ_k – wydajność WCK dla "k-tego" asortymentu.

Wprowadźmy ponadto do rozważań macierz "Q" przepustowości WCK, zdefiniowaną następująco:

$$Q = \begin{bmatrix} q_{11} & \cdots & q_{i1} & \cdots & q_{1K} \\ \vdots & & & & \\ q_{i1} & \cdots & q_{ik} & \cdots & q_{iK} \\ \vdots & & & & \\ q_{I1} & \cdots & q_{Ik} & \cdots & q_{IK} \end{bmatrix}, \qquad /22/$$

gdzie: $Q = A - S$ /23/

Ponieważ

$$\bigwedge_{1 \leqslant i \leqslant I} \; \bigwedge_{1 \leqslant k \leqslant K} \; 0 \leqslant s_{ik} \leqslant a_{ik} \qquad /24/$$

zatem:

$$q_{ik} = a_{ik} - s_{ik} \qquad /25/$$

$$0 \leqslant q_{ik} \leqslant a_{ik} \qquad /26/$$

Określenie 4. Stan istotny walcowni.

Stan "S" walcowni jest istotny, jeżeli w macierzy przepustowości "Q" w każdej kolumnie co najmniej jeden element jest zerem.

Określenie 5. Czas własny walcowni.

Czasem własnym walcowni nazywamy chwilę "t_n", w której występuje "n-ty" stan istotny walcowni.

Algorytm modelowania operacji procesu walcowania jest oparty na założeniu, że proces prowadzi się tak, by zmaksymalizować liczbę ton przewalcowanego materiału przed zmianą asortymentu lub konieczną wymianę założeń. Jeżeli w chwili "t_o" dany jest stan /14/ WCK, to pierwszy krok obliczeniowy algorytmu jest następujący:

1/ Na podstawie stanu /14/ wyznaczyć macierz przepustowości /22/ WCK, poprzez stany /16/ i /18/. Następnie z /22/ wyznaczamy:

$$Q_k = \min_i q_{ik} , \qquad /27/$$

czyli liczbę ton stali "k-tego" asortymentu, którą można przewalcować na WCK bez konieczności wymiany złożenia.

Jako pierwszy do realizacji w chwili "t_o" wybieramy asortyment "k_o" spełniający warunek:

$$\bigvee_{1 \leqslant k \leqslant K} \quad /\max_k Q_k = Q_1/ \Longrightarrow /k_o = 1/ \qquad /28/$$

Asortyment "k_o" będzie zatem walcowany do chwili "t_o^1":

$$t_o^1 = t_o + \frac{Q_{k_o}}{\lambda k_o} \qquad /29/$$

W ogólnym przypadku chwila "t_o^1" może nie być czasem własnym WCK, gdyż po odwalcowaniu "Q_{k_o}" ton stali asortymentu "k_o" nie wszystkie kolumny macierzy /22/ zawierają elementy zerowe.
Po zrealizowaniu części zamówienia "k_o" należy zaktualizować stan WCK oraz macierz /4/ tonaży zamówień. Zatem w drugim kroku obliczeniowym wykonujemy następujące obliczenia:

2/ Sprawdzamy, czy:

$$Q_{k_o} \leqslant \dot{x}_{k_o 2} . \qquad /30/$$

Jeżeli warunek /30/ nie jest spełniony, to zakładamy, że zamiast /29/ uwzględniamy wzór:

$$t_o^1 = t_o + \frac{X k_o 2}{\lambda k_o} . \qquad /31/$$

Natomiast w chwili "t_o^1", otrzymamy:

$$\dot{x}_{k_o 2} \; /t_o^1/ = 0 \qquad /32/$$

Jeżeli warunek /30/ jest spełniony, wówczas obowiązuje /27/ oraz:

$$x_{k_o 2} \; /t_o^1/ = x_{k_o 2} \; /t_o/ - Q_{k_o} . \qquad /33/$$

Następnie przystępujemy do modyfikacji stanu WCK.

Zatem:

$$\bigwedge_{1 \leqslant i \leqslant I} \quad q_{ik_0} / t_0^1 / = q_{ik_0} / t_0 / - Q_{k_0} \qquad /34/$$

oraz

$$\bigwedge_{1 \leqslant i \leqslant I} \quad s_{ik_0} / t_0^1 / = a_{ik_0} - q_{ik_0} / t_0^1 / \qquad /35/$$

Następnie odwracając warunek /19/ do postaci:

$$\bigwedge_{1 \leqslant i \leqslant I} \quad \bigvee_{1 \leqslant \varkappa \leqslant K/i/} \quad \bigvee_{1 \leqslant k \leqslant K} \quad /v_{i\varkappa} = d_{ik_0} / \quad \Longrightarrow \quad /r_{i\varkappa} = s_{ik_0} / \qquad /36/$$

otrzymamy stan WCK po agregacji /16/ w chwili "t_0^1".

Z kolei z /16/ przechodzimy do /18/ poprzez /19/, a następnie do /22/ poprzez /23/.

3/ W trzecim kroku obliczeniowym sprawdzamy warunek:

$$\bigwedge_{1 \leqslant k \leqslant K} \quad \max_k Q_k = 0 \qquad /37/$$

Jeżeli warunek /37/ jest spełniony, to chwila "t_0^1" jest czasem własnym WCK. Zatem należy dokonać wymiany złożenia "i_0", dla którego

$$\bigvee_{1 \leqslant i \leqslant I} \quad /\min_i q_{ik_0} = q_{\xi k_0} \quad /\Longrightarrow /i_0 = \xi / \qquad /38/$$

Zakładamy, że po wymianie "i_i-tego" złożenia każdy jego wykrój będzie miał maksymalną żywotność, a więc:

$$\bigwedge_{1 \leqslant k \leqslant K} \quad q_{i_0 k} / t_0^1 / = a_{i_0 k} \qquad /39/$$

oraz:

$$\bigwedge_{1 \leqslant k \leqslant K} \quad s_{i_0 k} / t_0^1 / = 0 \qquad /40/$$

Następnie z warunku:

$$\bigvee_{1 \leqslant i_0 \leqslant I} \quad \bigvee_{1 \leqslant \varkappa \leqslant K/i_0/} \quad \bigvee_{1 \leqslant k \leqslant K} \quad /v_{i_0\varkappa} = d_{i_0 k} / \Longrightarrow /v_{i_0\varkappa} = s_{i_0 k} / \qquad /41/$$

wyznaczamy aktualny stan /16/.

Po tej modyfikacji przechodzimy do kroku /1/ dla chwili "t_0^1".
Jeżeli warunek /37/ nie jest spełniony, to przechodzimy do kroku /1/

4/ Wyznaczamy pierwszy stan istotny i czas własny WCK z zależności:

$$t_1 = t_0 + \sum_{\eta \in E} \tau_\eta \ , \qquad /42/$$

gdzie η - numer złożenia, które należy wymienić

lub

$$t_1 = t_0 + \max_{\eta \in E} \tau_\eta \ . \qquad /43/$$

Wzór /48/ stosujemy, gdy wymian złożeń dokonuje jedna brygada, a

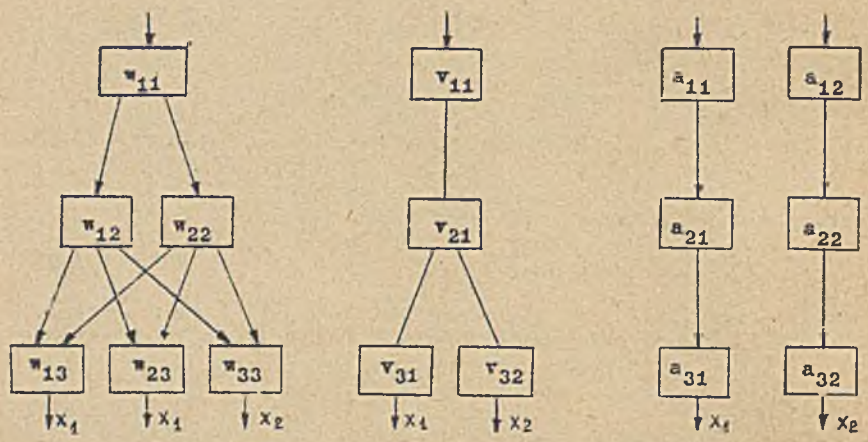
wzór /43/, gdy wymiany są prowadzone równocześnie.

Obliczenia prowadzimy do czasu gdy:

$$\bigwedge_{1 \leq k \leq K} x_{k2} = 0 \qquad /44/$$

4. Przykład obliczeniowy

Dla ilustracji przyjęto obiekt jak na rys. 1.



rys.1. Struktura obiektu

rys.2. Struktura obiektu z rys.1. po agregacji

rys.3. Zdekomponowana struktura obiektu z rys.1.

Znając technologię oraz mając wymagane dane można na podstawie podanego wcześniej opisu matematycznego oraz algorytmu opisanego w pkt. 3, uzyskać harmonogram realizacji zamówień oraz koniecznych wymian złożeń.

Graficznie, kilka kroków rozwiązania zadania dla obiektu z rys. 1 oraz danych:

$$G = \begin{bmatrix} 4000 & 4000 & \\ 4000 & 4000 & \\ 2000 & 2000 & 2000 \end{bmatrix}, \quad P = \begin{bmatrix} 3000 & 0 & \\ 3000 & 0 & \\ 3000 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

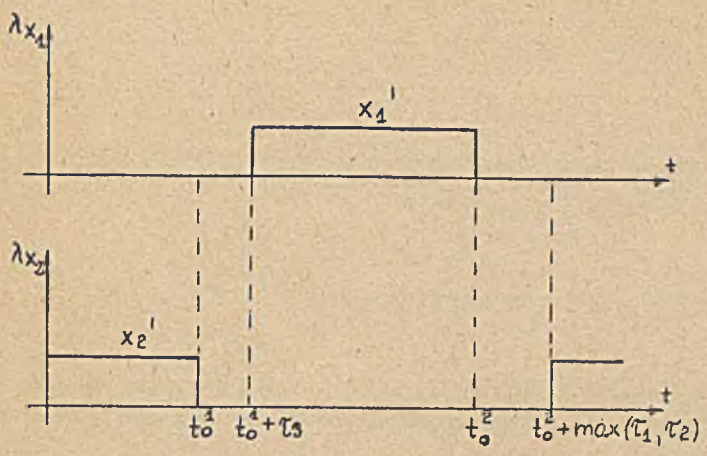
przedstawiono na rys. 4.

5. Uwagi i wnioski

Przedstawiony opis matematyczny i algorytm procesu walcowania ciągłego na WCK umożliwia harmonogramowanie procesu.

Modyfikacje tego algorytmu winny ująć tolerancje żywotności wykrojów przeznaczonych do wymiany oraz różny stopień zużywania się wykrojów przez różne asortymenty.

Koncepcja algorytmu winna być zweryfikowana na przykładach obliczeniowych opartych o rzeczywiste obiekty i dane z tych obiektów. Wynikanie wówczas niewątpliwie cały szereg dodatkowych ograniczeń wymagających uwzględnienia w algorytmie.



Rys. 4. Przykładowy harmonogram realizacji zamówień oraz koniecznych wymian złożeń.

LITERATURA

[1] Praca zbiorowa: " Zastosowanie modelowania cyfrowego" - mat. seminarium IK i TUAiI Gliwice, 1976.

[2] Praca zbiorowa: " System automatycznej kontroli i sterowania jakością wyrobów dla celów automatycznego sterowania" - cz.III i IV, Gliwice 1975,76.

[3] Bubnicki Z.: " Problemy sterowania kompleksów operacji" Konf. nt. " Współczesne problemy automatyki i informatyki" Gliwice 1973.

[4] Bubnicki Z.: " Identyfikacja obiektów sterowania", PWN, 1975.

[5] Kowalowski H., Marecki F., Torońska-Łuczyńska M.: " Identyfikacja adaptacyjna walcarki i predykcja procesu walcowania". ZN Pol.Sl. nr 36, Gliwice 1976.

[6] Kowalowski H., Duda J., Marecki F. : " Zastosowanie cyfrowego modelu symulacyjnego do predykcji procesu walcowania na walcowni ciągłej kęsów" ZN Pol. Sl. nr 36, Gliwice 1976.

[7] Marecki F.: " O diagnostyce probabilistycznej procesu walcowania. ZN Pol. Sl. nr 36, Gliwice 1976.

[8] Marecki F., Zielińska-Król E.: " Problemy i koncepcje identyfikacji struktury procesu walcowania ciągłego ". ZN Pol. Sl. nr 36.

[9] Praca zbiorowa: " Modele matematyczne i metody analizy dyskretnych procesów przemysłowych". - mat. seminarium IA, Gliwice 1978 (w przygotowaniu).

SCHEDULING OF THE ROLLING PROCESS

S u m m a r y

In the paper an algorithm of modelind of the rolling process for production scheduling purposes is presented. Criterion accepted depends on maximization of rolling efficiency.

ГРАФИК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ В ПРОКАТНОМ ПРОЦЕССЕ

Р е з ю м е

В работе представлен алгоритм моделирования процесса проката для определения графика продукции. Принят критерий максимализирующий производительность проката.