ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1980

Seria: MECHANIKA z. 68 Nr kol. 664

Władysław Jerzy SOBCZYK

MODEL PROSTEJ OPERACJI WIERTARSKO-WYTACZARSKIEJ

Streszczenie. Zaproponowano model procesu technologicznego obróbki na poziomie prostej operacji, zbudowany dla celów projektowania technologii.

1. WSTĘP

Specjaliści zajmujący się modelowaniem systemów stwierdzają, iż budowa modelu musi być podporządkowana celowi badań, któremu ma on służyć [5].

Publikowane modele procesów produkcyjnych i technologicznych obróbki można podzielić na dwie grupy:

1) modele dla optymalizacji procesów,
2) modele dla projektowania procesów.

Modele zaliczane do pierwszej grupy umożliwiają jedynie wybór optymalnego wariantu procesu ze względu na przyjętą funkcję celu, spośród procesów znanych i wcześniej zaprojektowanych, zapewniających osiągnięcie kryterium jakości. Nie zezwalają one na kształtowanie samych procesów. Tego typu modeli procesów spotyka się w publikacjach najwięcej [1:4,6,9]. Modele takie budowane są głównie przez cybernetyków, informatyków i organizatorów produkcji przy współudziale technologów.

Zadaniem modeli drugiej grupy jest kształtowanie samych procesów technologicznych na etapie projektowania oraz ich optymalizacja. Do nielicznych modeli tej grupy zaliczyć można modele publikowane przez W.D. Cwietkowa [2] oraz C.P. Mitrofanowa [10]. Informacje o tych modelach są bardzo skąpe.

Dalsze rozważania dotyczą jedynie modeli procesów technologicznych obróbki, umożliwiających ich kształtowanie.

2. MODEL PROCESU TECHNOLOGICZNEGO OBRÓBKI

Procesy technologiczne obróbki zaliczane do systemów dyskretnych o budowie wielopoziomowej. Taka budowa procesów obróbki najwyraźniej jest widoczna w pracach W.D. Cwietkowa [2].

Funkcją procesu technologicznego na każdym jego poziomie jest zmiana stanu przedmiotu obrabianego ze stanu początkowego S_{i-1} do stanu końcowego S_i, co można zapisać:

$$F_i : S_{i-1} \longrightarrow S_i. \tag{1}$$

Zależnie od poziomu podziału procesu zmiana stanu dotyczy jednej powierzchni elementarnej, ich zbioru lub całego przedmiotu obrabianego.

Dogodną formą modelowania takiego typu systemów są sieci znane również pod pojęciem grafów sieciowych [9]. Model procesu technologicznego obróbki przedstawić można w postaci sieci:

$$N_p = \langle G_p, \{S_k\}, \{V\} \rangle, \tag{2}$$

w której:

G_p - graf zorientowany (digraf)

$\{S_k\} = \{S_1, \ldots, S_k\}$ - zbiór funkcji stanów przedmiotu obrabianego opisanych na zbiorze wierzchołków grafu G_p

$\{V\} = \{F_j\} \cup \{K_i\}$ - zbiór funkcji określonych na gałęziach grafu G_p, będący sumą zbioru $\{F_j\} = \{F_1, \ldots, F_j\}$ funkcji przejścia elementów modelowanego procesu $F_j : S_{j-1} \longrightarrow S_j$, opisanych na zbiorze łuków $\vec{U}$ grafu oraz zbioru $\{K_i\} = \{K_1, \ldots, K_i\}$ funkcji sprawdzających kryterium jakości technologicznej, opisanych na pętlach $\mathring{U}$ grafu G_p.

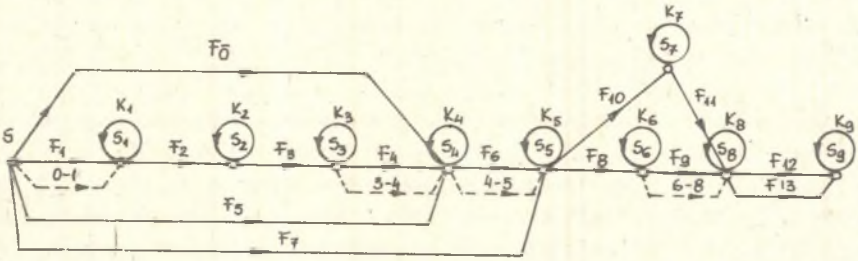
Graf, na którym opisana jest sieć N_p (2), jest zorientowanym grafem stanów. W przypadku przedstawionego modelu procesu technologicznego na poziomie prostej operacji wiertarsko-wytaczarskiej obróbki otworów w korpusach, obrazuje on znane sposoby (zabiegi) kształtowania powierzchni obrotowych wewnętrznych w korpusach. Graf jest uporządkowany wg wzrastającej dokładności geometrycznej. Łuki grafu reprezentują zabiegi, a wierzchołki są adekwatne do stanów powierzchni obrabianego po zrealizowaniu zabiegów składających się na konkretną drogę grafu. Pętle reprezentują zastosowanie w procesie projektowania kryterium jakości technologicznej.

Graf G_p modelowanego przykładowego procesu przedstawiono na rys. 1.

Do grafu G_p wprowadzono łuk reprezentujący kształtowanie otworu przez odlewanie. Umożliwiło to projektowanie procesów zarówno z pełnego materiału, jak i z postaci wstępnie ukształtowanej w surówce. Graf posiada również łuki pozorne wykreślone linią przerywaną, które nie powodują zmiany stanu, a jedynie tworzą drogi omijające pewne zabiegi, np. nawiercanie poprzedzające wiercenie.

Pętle umożliwiają porównanie stanu osiągniętego w konkretnym etapie procesu ze stanem żądanym i przerwanie dalszej analizy drogi grafu, a zatem i procesu lub kontynuowanie procesu dalej. Spełniają one w modelu rolę ele-

mentu pozwalającego na redukcję sieci podstawowej N_p do sieci optymalizacyjnej N_o.



Rys. 1. Graf technologii obróbki otworów w korpusach

1 - nawiercanie, 2 - wiercenie, 3 - powiercanie pierwsze, 4 - powiercanie drugie, 5 - wiercenie trepanacyjne, 6 - wytaczanie 1 zgrubne, 7 -wytaczanie trepanacyjne, 8 - rozwiercanie 1 zgrubne, 9 - rozwiercanie 2 (wstępne) 10 - wytaczanie 2 (średnio dokładne), 11 - wytaczanie 3 (dokładne), 12 - rozwiercanie 3 (dokładne), 13 - wytaczanie 4 (bardzo dokładne), 0 - odlewanie

Jako wynik redukcji sieci podstawowej N_p (2), przy zadanych parametrach żądanego stanu końcowego S_k, powstaje sieć:

$$N_o = \langle G_o, \emptyset, \{K_e\} \rangle, \tag{3}$$

w której:

G_o - graf optymalizacyjny będący grafem zorientowanym bez pętli i zawierającym wszystkie drogi grafu G_p, zapewniające uzyskanie stanu S_k

$\{K_e\} = \{K_1, \ldots, K\}$ - zbiór funkcji optymalizacyjnych opisany na zbiorze gałęzi grafu G_o.

Powracając do sieci podstawowej N_p, funkcją stanu S_k dowolnego jej wierzchołka jest zbiór parametrów opisujących stan powierzchni obrabianych w modelowanym procesie. Ilość i rodzaj parametrów w zbiorze S uzależniona jest od ilości parametrów geometrycznych i fizyko-chemicznych opisujących przedmiot obrabiany oraz od parametrów kontrolowanych przez kryterium jakości podczas projektowania procesu. Przy projektowaniu technologii obróbki otworów parametrami tymi najczęściej są: D - średnica w mm, L - długość otworu w mm, T - tolerancja średnicy w mm, R - chropowatość powierzchni walcowej wg Ra w μm oraz P - odchylenie przestrzenne osi w μm.

Po zapisaniu funkcji stanu jako zbioru $S_i = \{D_i, L_i, T_i, R_i, P_i\}$ funkcję F elementu procesu technologicznego można interpretować matematycznie jako funkcję odwzorowania zbioru S_{i-1} na zbiorze S_i. Interpretacja taka jest ponadto zgodna z rolą, jaką spełnia element procesu technologicznego w procesie technologicznym budowy maszyn.

Ilość parametrów stosowanych w modelu nie jest ograniczona, a w miarę ich wzrostu wymagane jest ustalenie odpowiednich odwzorowań.

Proponowany model opisuje jedynie bardzo prostą operację, w której obrabiana jest tylko jedna powierzchnia.

3. PRZYKŁAD MODELOWANIA

Obecna znajomość funkcji odwzorowania dla poszczególnych rodzajów obróbki nie jest wystarczająca dla celów analitycznego projektowania procesów. Istnieją jedynie dane pozwalające na ustalenie funkcji przybliżonych dla zabiegów, w których o dokładności obróbki w głównej mierze decyduje charakterystyka narzędzia skrawającego, a nie podatność i dokładność geometryczna całego układu obrabiarka-przyrząd-narzędzie-przedmiot.

W zakresie zabiegów będących przedmiotem zainteresowań zabiegami takimi są zabiegi wiertarskie.

Przykładowo funkcję odwzorowania dla zabiegu wiercenia można zapisać:

$$F_2 = \left\{ f_{2(D)},\ f_{2(T)},\ f_{2(R)},\ f_{2(P)} \right\}. \tag{4}$$

Na podstawie wyników badań opublikowanych przez W.M. Kowana [8] funkcje cząstkowe odwzorowania dla wiercenia wiertłami krętymi zapisać można w postaci:

a) odwzorowania średnicy dla $6 \leqslant D_N \leqslant 20$

$$f(D_N)_2 = 0{,}123 + 8{,}84 \cdot 10^{-3} \cdot D_N, \tag{5}$$

gdzie:

D_N - średnica wiertła,

b) odwzorowania tolerancji średnicy dla $3 \leqslant D \leqslant 20$

$$f_{(T)_2} = 0{,}0865 + 0{,}0123 \cdot D - 3{,}01 \cdot 10^{-4} \cdot D^2, \tag{6}$$

c) odwzorowania chropowatości dla $3 \leqslant D \leqslant 20$

$$f_{(R)_2} = 8{,}6 + 4{,}1 \cdot D - 0{,}1 \cdot D^2, \tag{7}$$

d) odwzorowania przemieszczenia przestrzennego osi dla $3 \leqslant D \leqslant 20$

$$f_{(P)_2} = \begin{cases} 0{,}4 \cdot P_{i-1} + (2{,}477 - 0{,}166 \cdot D + 4{,}24 \cdot 10^{-3} \cdot D^2) \cdot 1 \\ \quad \text{dla } P_{i-1} < (2{,}58 - 0{,}173 \cdot D + 4{,}42 \cdot 10^{-3} \cdot D^2) \cdot 1 \\ 0{,}96 \cdot P_{i-1} + (1{,}022 - 0{,}0652 \cdot D + 1{,}456 \cdot 10^{-3} \cdot D^2) \cdot 1 \\ \quad \text{dla } P_{i-1} \geqslant (2{,}58 - 0{,}173 \cdot D + 4{,}42 \cdot 10^{-3} \cdot D^2) \cdot 1 \end{cases} \tag{8}$$

gdzie:

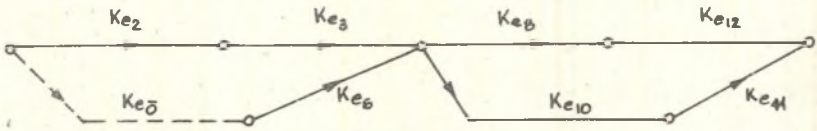
l - długość otworu wierconego,

P_{i-1} - przemieszczenie początkowe osi, np. nawiercania.

W podobnej postaci można zapisać funkcję odwzorowania dla pozostałych zabiegów wiertarskich. W rzeczywistości funkcje odwzorowania zabiegów wydają się być funkcjami bardziej uwikłanymi, uwzględniającymi wpływ charakterystyki środków produkcyjnych oraz parametrów technologicznych.

Prace prowadzone w Instytucie Budowy Maszyn Politechniki Śląskiej nad ustaleniem funkcji odwzorowania wytaczaniem, uwzględniających dokładność i podatność obrabiarki, narzędzia skrawającego i uchwytów narzędziowych wykazały, iż zagadnienie to jest bardzo złożone, lecz pomimo to rozwiązywalne w warunkach produkcyjnych. Problematyki tej dotyczy odrębny artykuł J. Darlewskiego, R. Zdanowicza i H. Słupika, zawarty w niniejszym Zeszycie.

Dla projektowania przykładowej technologii obróbki otworu, którego stan $S_k = \{D_k, L_k, T_k, R_k, P_k\} = \{35, 20, 0.039, 0.63, 33\}$ sieć (2) redukuje się do sieci optymalizacyjnej uwidocznionej na rys. 2, przedstawiającej cztery warianty procesu obróbki otworu, spełniającej kryterium jakości technologicznej.



Rys. 2. Sieć optymalizacyjna technologii obróbki otworów dla stanu $S_k = \{35, 20, 0.039, 0.63, 33\}$. Indeksy zabiegów jak na rys. 1

4. WNIOSKI

Teoria grafów i sieci pozwala na budowę modeli procesów technologicznych obróbki dla celów projektowania technologii w budowie maszyn.

Proponowany model jest modelem otwartym, który w miarę rozwoju metod obróbki może być rozbudowywany w łatwy sposób.

Możliwość zapisu sieci za pomocą macierzy sześciennych pozwala na wykorzystanie rachunku macierzowego w projektowaniu procesów obróbki.

Dla wykorzystania modeli do projektowania niezbędna jest znajomość funkcji odwzorowania dla aktualnie stosowanych sposobów obróbki oraz innych operacji występujących w procesach technologicznych budowy maszyn, np. operacji obróbki cieplnej. Obecnie znane funkcje jedynie w nielicznych przypadkach odzwierciedlają rzeczywiste odwzorowanie zachodzące podczas procesu.

W Instytucie Budowy Maszyn Politechniki Śląskiej prowadzone są prace nad modelowaniem procesów obróbki na różnych poziomach jego podziału.

LITERATURA

[1] CHAJTMAN S.: Podstawy organizacji procesu produkcyjnego. PWE, Warszawa 1971.

[2] CVIETKOV W.D.: Sistema awtomatizacji projektirowanija technołogiozeskich processow. Maszinostrojenie, Moskwa 1972.

[3] GRABOWSKI J.: Modele matematyczne i optymalizacji zagadnień sekwencyjnych w dyskretnych procesach produkcyjnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. S. Automatyka, z. 43, 1978, ss. 29-37.

[4] GRABOWSKI J.: Algorytmy optymalizacji i sterowania w dyskretnych procesach produkcyjnych. Prace Naukowe Instytutu Cybernetyki Technicznej Politechniki Wrocławskiej Nr 42, Monografia nr 7, Wrocław 1977.

[5] GORDON G.: Symulacja systemów. WNT, Warszawa 1974.

[6] KOWALOWSKI H.: Modelowanie w operacyjnym sterowaniu produkcją dyskretnych procesów przemysłu maszynowego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Automatyka, z. 43, ss. 53-59.

[7] KORZAN B.: Elementy teorii grafów i sieci. WNT, Warszawa 1978.

[8] KOWAN W.M.: Obliczanie naddatków na obróbkę w budowie maszyn. PWN, Warszawa 1956.

[9] MIRECKI F.: Modelowanie symulacyjne linii montażowej samochodu małolitrażowego. Informatyka, 7-8/75.

[10] MITROFANOW C.P., GULNOW Ju.A., KULIKOW D.D.: Awtomatizacija podgotowki serijnogo proizwodstwa. Maszinostroenije. Moskwa 1974.

МОДЕЛЬ ПРОСТОЙ СВЕРИЛЬНО-РАСТОЧНОЙ ОПЕРАЦИИ

Р е з ю м е

Предлагается модель технологического процесса обработки на уровне простой операции, построенная для целей проектирования технологии.

THE MODEL OF A SIMPLE DRILLING AND BORING OPERATION

S u m m a r y

The model of a technological machining process is given on a simple operaction level: it is workeed out for technology design parpose.