ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1989

Seria MECHANIKA z. 91 Nr kol. 1026

XIII MIĘDZYNARODOWE KOLOKWIUM
"MODELE W PROJEKTOWANIU I KONSTRUOWANIU MASZYN"

13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON
"MODELS IN DESIGNING AND CONSTRUCTIONS OF MACHINES"

25-28.04.1989 ZAKOPANE

Tadeusz TYRLIK, Marian WIERCIGROCH

Instytut Budowy Maszyn
Politechnika Śląska

MODELOWANIE MATEMATYCZNE RUCHU ZESPOŁU WRZECIONOWEGO WIERTARKO-FREZARKI W ASPEKCIE PROCESU WYTACZANIA

Streszczenie. W pracy przedstawiono proces budowy modelu cyfrowego opisującego ruch zespołu wrzecionowego wiertarko-frezarki w trakcie kształtowania powierzchni obrotowych wewnętrznych narzędziem jednoostrzowym. Opracowany model dyskretny posiada nieliniowości, których źródłem jest dysypacja energii oraz sztywność stykowa węzłów łożyskowych.

Różniczkowe równanie ruchu sprowadzono do postaci algebraicznej otrzymując układ równań z nieliniową charakterystyką siły sprężystości i tłumienności.

1. Wprowadzenie

W obrabiarkach z obrotowym ruchem głównym o jakości powierzchni, dokładności wymiarowej i kształtowej w zasadniczym stopniu decyduje zespół wrzecionowy. Jego właściwości statyczne oraz dynamiczne znajdują bezpośredni wyraz w przemieszczeniach względnych między narzędziem a przedmiotem obrabianym.

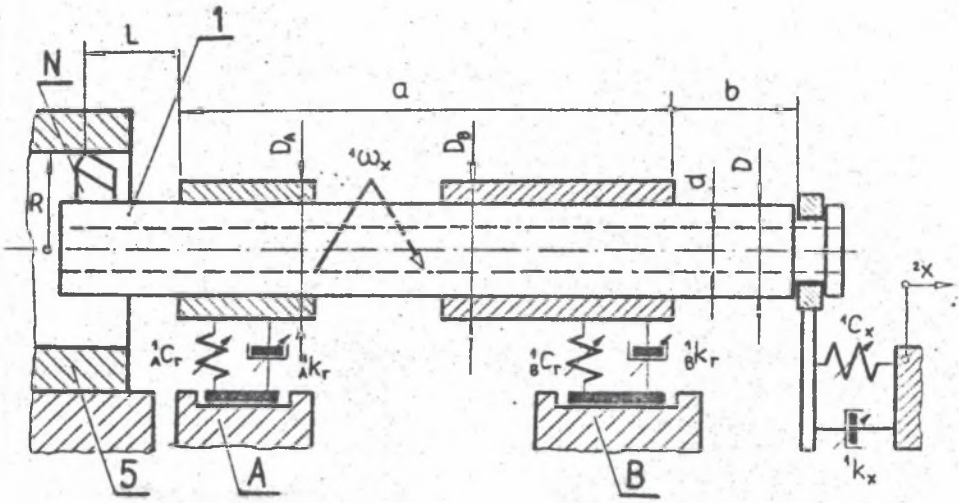
Artykuł jest próbą opisu zjawisk dynamicznych zachodzących w zespole wrzecionowym wiertarko-frezarki WFM 100 CNC w trakcie procesu wytaczania narzędziem jednoostrzowym. Proces ten jest szczególnie niekorzystny z punktu widzenia dokładności obróbki i trwałości zespołów, ze względu na wirowanie wektora wypadkowej siły skrawania [5].

2. Założenia przyjęte do określenia modelu

Dokładne odzwierciedlenie dynamicznych oddziaływań w zespole wrzecionowym wywołanych procesem skrawania - ze względu na ich złożoność jest postulatem trudnym do zrealizowania. Przyjęty model powinna cechować prostota i adekwatność do obiektu rzeczywistego.

Na rys. 1. przedstawiono model fizyczny zespołu wrzecionowego,

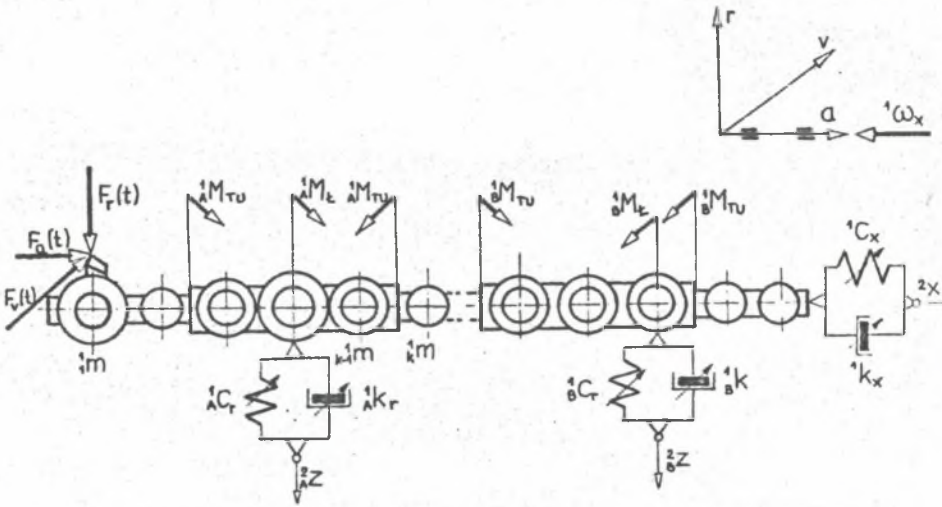
w którym uwzględniono:
- usytuowanie wrzeciona w tulei,
- rozproszenie energii w węzłach łożyskowych,
- sztywność stykową połączeń,
- przemieszczenia osi wrzeciona wywoływane są działaniem składowych sił skrawania oraz siłami inercji.



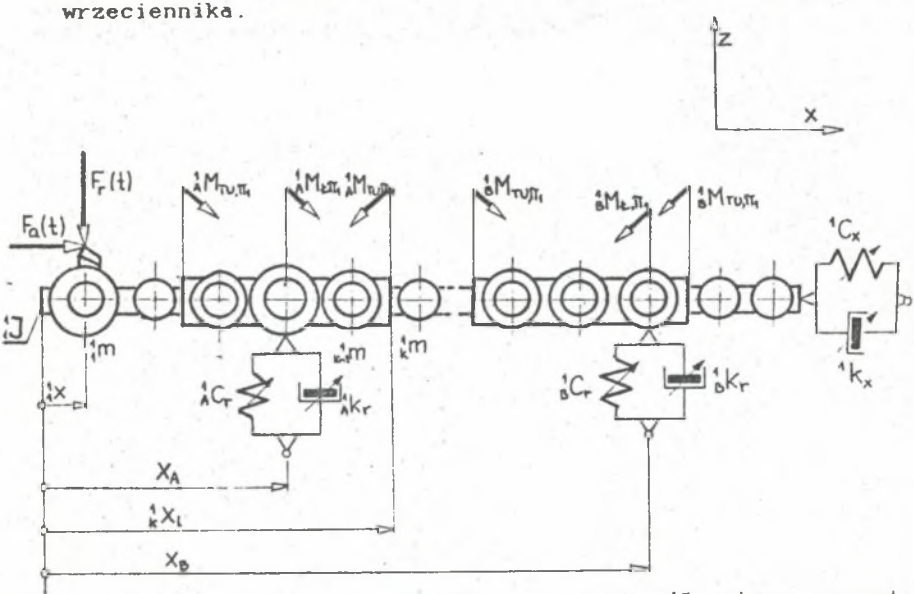
Rys.1. Model fizyczny zespołu wrzecionowego wiertarko-frezarki w trakcie procesu wytaczania; 1-wrzeciono robocze, 5-przedmiot obrabiany, N-narzędzie (wytaczak), A,B-przednia i tylna podpora łożyskowa, D,d-zewnętrzna i wewnętrzna średnica wrzeciona, D_A, D_B -średnice tulei łożyskowych, L-wysuw wrzeciona, R-promień wytaczania, a,b-dodatkowe parametry geometryczne, ${}^1_AC_r$, ${}^1_BC_r$ - sztywność statyczna promieniowa w podporach A i B, ${}^1C_x$ - sztywność w kierunku osiowym, ${}^1_Ak_r$, ${}^1_Bk_r$ - tłumienność promieniowa dla podpór A i B, ${}^1k_x$ - tłumienność osiowa, ${}^1\omega_x$-prędkość kątowa wrzeciona.

W oparciu o przedstawiony model fizyczny zbudowano model dyskretny jako belkę z wysięgnikami podpartą w dwóch poprzecznych podporach, z umieszczonymi na niej masami skupionymi. Na masy te składa się zarówno masa wrzeciona, jak i elementów na nim osadzonych. Belka traktowana jest jako nieważka o odcinkowo stałej sztywności giętnej [2]. Na rys.2. przedstawiono model dyskretny zespołu wrzecionowego z uwzględnieniem wirującego w trakcie obróbki wektora siły skrawania.

Drgania wielomasowego modelu zespołu wrzecionowego rozpatrzono w dwóch prostopadłych płaszczyznach π_1 i π_2 sumując geometrycznie dynamiczne przemieszczenia dyskretnych mas, których położenie wzdłużne określa współrzędna ${}^1_kx$ (rys.3.).



Rys.2. Model dyskretny zespołu wrzecionowego; m-masa k-tego elementu wrzeciona, $^1_AM_{TU}$, $^1_BM_{TU}$ - moment usztywniający, modelujący działanie tulei w podporach A i B, $^1_AM_L$, $^1_BM_L$ - momenty sprężystego utwierdzenia w łożyskach odpowiednio dla podpory przedniej i tylnej, $F_a(t)$, $F_r(t)$, $F_v(t)$-składowa wzdłużna, promieniowa i obwodowa siły wytaczania, ^2_Az, ^2_Bz-przemieszczenie pionowe wrzeciennika w podporach A i B, ^2x - przemieszczenie wzdłużne wrzeciennika.



Rys.3. Model dyskretny w płaszczyźnie π_1 (zx), ^1_kJ-osiowy moment bezwładności k-tego przedziału, $^1_kx_L$-współrzędna granicy k i k-1 przedziału stałej sztywności giętnej.

3. Model matematyczny

Przedstawiony model dyskretny zespołu wrzecionowego posiada nieliniowości w postaci:
- nieliniowej siły sprężystości w podporach łożyskowych będącej wynikiem występowania sztywności stykowej (rys.4a),
- nieliniowej siły tłumienności w podporach łożyskowych, którą uwzględniono funkcją sklejaną (rys.4b).

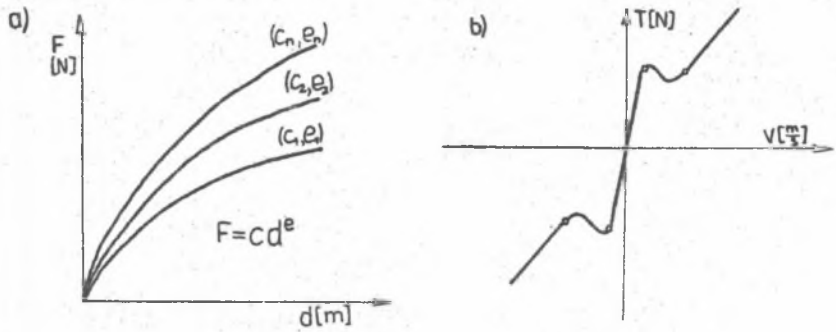
Różniczkowe równanie ruchu opisywanego układu w formie macierzowej ma postać:

$$ {}^{1}m\,{}^{1}\ddot{q} + {}^{1}k({}^{1}\dot{q})\,{}^{1}\dot{q} + {}^{1}c({}^{1}q)\,{}^{1}q = {}^{1}F \tag{1} $$

przy czym:

$$ {}^{1}F = F_{skr} + {}^{1-2}F \tag{2} $$

gdzie: ${}^{1}m$ – diagonalna macierz bezwładności wrzeciona,
${}^{1}k({}^{1}\dot{q})$ – pasmowa macierz funkcyjnie zmiennych współczynników tłumienności,
${}^{1}c({}^{1}q)$ – pasmowa macierz funkcyjnie zmiennych wskaźników sztywności,
${}^{1}q$ – wektor współrzędnych uogólnionych,
${}^{1}F$ – wektor wymuszeń zewnętrznych,
F_{skr} – wektor sił skrawania,
${}^{1-2}F$ – wektor siłowych oddziaływań wrzeciennika na wrzeciono.



Rys.4. Nieliniowości zespołu wrzecionowego; a) sił sprężystości, b) sił tłumienności

Przyjęta charakterystyka siły skrawania [3] uwzględnia fazowe przesunięcie wektora przyrostu parametrów geometrycznych ΔG w stosunku do wektora F_{skr}:

$$ F_{skr} = F^{o}_{skr} + W(G)\,\Delta G + H(\dot{G})\,\Delta\dot{G} \tag{3} $$

przy czym:

$$\Delta G = \phi\ ({}^{i}q_{\tau=t} - {}^{i}q_{\tau=t-t_o}) \tag{4}$$

gdzie : F^{o}_{skr} – wektor siły skrawania dla ustalonych parametrów (składowa wolnozmienna),

$W(G)$ – macierz współczynników wzmocnienia obliczona dla aktualnego wektora parametrów geometrycznych G,

$H(\dot{G})$ – macierz dysypacji energii w procesie skrawania obliczona dla aktualnego wektora fluksji parametrów geometrycznych $\dot{G}$,

ϕ – macierz transformacji wektora ${}^{i}q$,

t_o – czas jednego obrotu wrzeciona,

t – czas obserwacji.

Podstawiając równanie (4) do (3), a wynik do zależności (2), po czym otrzymane równanie do (1), uzyskano model matematyczny układu **zespół wrzecionowy – proces skrawania** w postaci różniczkowej. Przekształcając otrzymaną zależność do postaci algebraicznej, uzyskano równanie:

$$ {}^{i}m\ {}^{i}a + {}^{i}k({}^{i}v)\ {}^{i}v + {}^{i}c({}^{i}d)\ {}^{i}d = F^{o}_{skr} + W^{*}({}^{i}d)\ \phi\ ({}^{i}d_{\tau=t} - {}^{i}d_{\tau=t-t_o}) $$
$$ + H^{*}({}^{i}v)\ \phi\ ({}^{i}v_{\tau=t} - {}^{i}v_{\tau=t-t_o}) + {}^{i-2}F \tag{5}$$

gdzie: $W^{*}({}^{i}d)$ – zmodyfikowana macierz współczynników wzmocnienia,

$H^{*}({}^{i}v)$ – zmodyfikowana macierz dysypacji energii w procesie skrawania,

${}^{i}a, {}^{i}v, {}^{i}d$ – wektor przyspieszeń, prędkości i przemieszczeń.

Równanie (5) zawierające macierze zmiennych współczynników ${}^{i}k({}^{i}v)$, ${}^{i}c({}^{i}v)$, $W^{*}({}^{i}d)$, $H^{*}({}^{i}v)$ rozwiązano metodą Newtona-Raphsona, całkując numerycznie równania ruchu metodą Newmarka w odmianie liniowego przyspieszenia (współczynnik kolokacji β=1/6). Restartu dokonywano algorytmem zaproponowanym w pracy [4], po czym wektory prędkości i przemieszczeń określono z równań kolokacji [6,1].

4. Podsumowanie

W pracy przedstawiono proces modelowania ruchu zespołu wrzecionowego wiertarko-frezarki. Otrzymany model matematyczny powiązano z modelem procesu skrawania, uzyskując zamknięty układ równań, zawierający trzy rodzaje nieliniowości:

- nieliniowość siły sprężystości,
- nieliniowość siły tłumienności,
- nieliniowość dynamicznej charakterystyki siły skrawania.

Dla rozwiązania układu równań nieliniowych zaproponowano metodę Newtona-Raphsona przyjmując jako pierwsze, lecz bardzo bliskie rozwiązania – przybliżenie w postaci całki równania (5) otrzymanej metodą Newmarka.

LITERATURA

[1] *Jennings A.*: Matrix computation for engineers and scientists. J. Wiley & sons. London 1977.

[2] *Koch J., Krzyżanowski J., Ilczyszyn J.*: Wrzeciona obrabiarek. WNT, Warszawa 1982.

[3] *Wiercigroch M., Tytkowski K.T.*: Algorytmizacja procesu toczenia dla potrzeb zgrubnego wytaczania na wiertarko-frezarkach. Materiały z XXVII Sympozjonu "Modelowanie w Mechanice, Gliwice-Wisła 1988.

[4] *Wiercigroch M.*: Restart for Collocation Methods of Solution of Motion Equations with Dynamic Characteristics of Cutting Process. Vibrations in The Physical Systems. Błażejewko 1988.
[4] *Wiercigroch M.*: Modelowanie i symulacja cyfrowa procesu wytaczania na wiertarko-frezarkach. Instytut Budowy Maszyn Politechniki Śląskiej (materiał niepublikowany).
[6] *Wilson E.*: Numerical methods in finite element analysis, Prentite-Hall, New Jersey 1976.

MODELLING THE SPINDLE SYSTEM OF HORIZONTAL BORING MACHINE IN THE HOLEBORING PROCESS

S u m m a r y

The paper presents the method of modelling the motion of the spindle system in the holeboring process with single tool.
The generated model have nonlinearties which depend on the damping and the contact stiffness of the spindle system. The differential equation of motion was transformed into the algebraical form with nonlinear stiffness and damping.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ШПИНДЕЛЯ ГОРИЗОНТАЛЪНОГО СВЕРЛИЛЪНО РАСТОЧНОГО СТАНКА В АСПЕКТЕ ПРОЦЕССА РАСТАЧИВАНИЯ

Р е з ю м е

В работе дается способ матемматического маделирования движения системы шпинделя горизонтального сверлильно расточного станка для оброботки внутренных поверхностеи одном инструментом.

Разроботана дискретная модель имеет нелинеиные члехы, которые возникнылы от диссипации энергии и контактнои жестостии в системе шпинделя.

Дифференцированные управление движения моделированнои системы сводитено в алгебраическую форму с нелинейными характеристиками жесткости и диссипации.

Recenzent: prof. dr hab. inż. J. Koch

Wpłynęło do Redakcji 12.I.1989 r.