ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1995

Seria: MECHANIKA z. 121 Nr kol. 1266

Jan TOMKÓW, Krzysztof MARCHELEK, Bartosz POWAŁKA
Instytut Technologii Mechanicznej
Politechnika Szczecińska

WRAŻLIWOŚĆ GRANICY WIBROSTABILNOŚCI NA PARAMETRY MASOWE MODELU UKŁADU MASOWO-DYSSYPACYJNO-SPRĘŻYSTEGO FREZARKI

Streszczenie. Przedstawiono metodę analizy wrażliwości granicznej szerokości warstwy skrawanej na parametry masowe modelu frezarki zbudowanego w konwencji metody sztywnych elementów skończonych. Zdefiniowano wskaźnik wrażliwości, który może być stosowany również do badania wrażliwości granicy wibrostabilności na parametry sztwnościowe i dyssypacyjne modelu. Zprezentowano rezultaty analizy wrażliwości modelu frezarki FWD-32J.

DYNAMIC STABILITY LIMIT SENSITIVITY TO THE MASS PARAMETERS OF THE MILLING MACHINE MASS-DAMPING-SPRING SYSTEM MODEL

Summary. A method for efficient sensitivity analysis of the dynamic stability limit to the mass parameters of the milling machine mass-damping-spring model built in rigid finite elements method convention is introduced. The sensitivity index applicable for damping and spring parameters is defined. Results of the sensitivity analysis of the FWD-32J milling machine model are presented.

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ГРАНИЦЫ ВИБРОУСТРОЙЧИВОСТИ НА МАССОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИ МАССОВО - ДИССИПАТИВНО-УПРУГОЙ СИСТЕМЫ ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА

Резюме. Представлен метод анализа чувствительности предельной ширины срезаного слоя на массовые параметры модели фрезерного станка строенной на основе жёстких конечных элементов. Определено показатель чувствительности, который можна использовать тоже для исследования чувствительности предельной ширины срезаемого слоя на жостко-диссипативные параметры модели. Представлено результаты анализа чувствительности модели фрезерного станка.

1. WSTĘP

W Instytucie Technologii Mechanicznej Politechniki Szczecińskiej została opracowana metoda doświadczalnego poszukiwania "słabego ogniwa" (elementu najbardziej odpowiedzialnego za utratę stabilności) w układzie masowo-dyssypacyjno-sprężystym obrabiarka-uchwyt-przedmiot obrabiany - narzędzie [3, 6]. Na podstawie transformacji drgań względnych poszczególnych elementów obrabiarki określonych w warunkach utraty wibrostabilności wyznacza się ich udział w drganiach pomiędzy przedmiotem obrabianym i narzędziem skrawającym. Udział ten zaprezentowany jest w formie histogramów. Istnieje również możliwość wygenerowania filmu komputerowego przedstawiającego drgania elementów składowych obrabiarki. Na podstawie filmu i histogramu wskazywane jest "słabe ogniwo" i podejmowana jest decyzja dotycząca modyfikacji obrabiarki w celu podniesienia jej wibrostabilności. Takie podejście do zagadnienia modyfikacji ma jednak charakter intuicyjny. Nie otrzymuje się bowiem sformalizowanego wskaźnika określającego ilościowo wpływ parametrów masowo-dyssypacyjno-sprężystych modelu na granicę wibrostabilności. Dlatego konieczne staje się opracowanie metody analizy wrażliwości, która w sposób jednoznaczny określałaby zarówno parametr, jak i kierunek jego modyfikacji w celu poprawy właściwości dynamicznych modelu. Wymagania te spełnia metoda analizy wrażliwości granicy wibrostabilności na parametry masowe modelu układu MDS obrabiarki, co zostanie zaprezentowane w niniejszej publikacji.

2. ANALIZA WIBRIOSTABILNOŚCI FREZARKI

Do badań wibrostabilności wykorzystuje się model układu MDS OUPN obrabiarki zbudowany w konwencji metody sztywnych elementów skończonych [2]. Szczegóły budowy modelu można znaleźć w pracach [1, 5, 8]. Na podstawie kryterium Nyquiste'a formułuje się następujący warunek stabilności:

$$\det[I + W_{MDS}(j\omega)\, W_{PR}(j\omega)] = 0, \tag{1}$$

gdzie:

$W_{MDS}(j\omega)$ - zespolona macierz podatności dynamicznej,
$W_{PR}(j\omega)$ - zespolona macierz procesu skrawania.

Macierz W_{PR} można zapisać następująco [7]:

$$W_{PR} = b_0(w_p' - w_{PT}' e^{-j\varepsilon}), \tag{2}$$

przy czym

b_0 - szerokość warstwy skrawanej

w_p'- macierz właściwych dynamicznych charakterystyk procesu skrawania, odniesiona do modulacji wewnętrznej;

w_{PT}'- macierz właściwych dynamicznych charakterystyk procesu skrawania, odniesiona do modulacji zewnętrznej,

ε - kąt przesunięcia fazowego między zewnętrzną i wewnętrzną modulacją szerokości warstwy skrawanej.

Wyznaczenie parametrów granicy wibrostabilności tzn. granicznej szerokości b_0, częstotliwości f oraz kąta ε, polega na minimalizacji funkcji celu postaci:

$$y_{min} = b_{0min} \tag{3}$$

przy zachowaniu ograniczenia równościowego określonego równaniem (1) oraz ograniczeń nierównościowych

$$0 < \varepsilon < 2\cdot\pi, \tag{4}$$

$$b_0 > 0. \tag{5}$$

Wyznaczona w ten sposób graniczna szerokość warstwy skrawanej niesie informację o odporności obrabiarki na drgania samowzbudne i służy do opracowania parametrów modelu procesu skrawania na granicy wibrostabilności, to zaś stwarza możliwość analizy drgań na granicy wibrostabilności. W wyniku analizy wskazane jest "słabe ogniwo", lecz nie ma odpowiedzi, jak je zmodyfikować, aby nastąpiła poprawa wibrostabilności.

3. ANALIZA WRAŻLIWOŚCI

Wielkością kluczową, mającą decydujący wpływ na utratę wibrostabilności układu OUPN jest szerokość warstwy skrawanej. Dlatego uzasadnione jest badanie wpływu parametrów modelu układu MDS na graniczną szerokość warstwy skrawanej. W związku z tym konieczne jest zapisanie granicznej szerokości warstwy skrawanej w funkcji parametrów modelu układu MDS:

$$b_0 = f(\varepsilon, y_1, \ldots, y_2, \ldots, y_n), \tag{6}$$

gdzie:

y_i - dowolny parametr modelu matematycznego układu MDS.

Wyznacznik charakterystyczny (1) jest funkcją uwikłaną zmiennej b_0 związaną ze zmiennymi niezależnymi y_i oraz z kątem przesunięcia fazowego ε [7]. Powoduje to, iż zmiana szerokości warstwy skrawanej wynika nie tylko ze zmiany parametru y, lecz także z pośrednio z nią związanej zmiany wartością kąta ε i może być wyrażona zależnością:

$$\Delta b_i = \frac{\partial b_0}{\partial y_i}\cdot\Delta y_i + \frac{\partial b_0}{\partial \varepsilon}\cdot\Delta\varepsilon. \tag{7}$$

Zapisując wyznacznik charakterystyczny jako funkcję b_0, parametrów modelu matematycznego dynamiki procesu skrawania oraz kąta ε:

$$G = f(b_0,\varepsilon,y_1,y_2,\ldots,y_i,\ldots,y_n) = 0 \tag{8}$$

uzyskuje się możliwość wyznaczenia pochodnych koniecznych do obliczeń zmiany granicznej szerokości warstwy skrawanej wynikającej ze zmiany parametru modelu matematycznego y_i. Pochodne te mają postać:

$$\frac{\partial b_0}{\partial y_i} = \frac{\frac{\partial G}{\partial y_i}}{\frac{\partial G}{\partial b_0}} \tag{9}$$

$$\frac{\partial b_0}{\partial \varepsilon} = \frac{\frac{\partial G}{\partial \varepsilon}}{\frac{\partial G}{\partial b_0}} \tag{10}$$

Wstawiając do równania (7) zależności (9) i (10) otrzymuje się:

$$\Delta b_0 = \frac{\frac{\partial G}{\partial y_i}}{\frac{\partial G}{\partial b_0}}\cdot\Delta y_i - \frac{\frac{\partial G}{\partial \varepsilon}}{\frac{\partial G}{\partial b_0}}\cdot\Delta\varepsilon \tag{11}$$

Po rozpisaniu powyższego równania na część rzeczywistą i urojoną otrzymuje się układ równań, po rozwiązaniu którego uzyskuje się wynik:

$$\Delta b_0 = \frac{Re\left(\frac{\partial G}{\partial \varepsilon}\right)\cdot Im\left(\frac{\partial G}{\partial y_i}\right) - Re\left(\frac{\partial G}{\partial y_i}\right)\cdot Im\left(\frac{\partial G}{\partial \varepsilon}\right)}{Re\left(\frac{\partial G}{\partial b_0}\right)\cdot Im\left(\frac{\partial G}{\partial \varepsilon}\right) - Re\left(\frac{\partial G}{\partial \varepsilon}\right)\cdot Im\left(\frac{\partial G}{b_0}\right)}\cdot\Delta y_i \tag{12}$$

Obliczony przyrost granicznej szerokości warstwy skrawanej może być używany jako wskaźnik wrażliwości. Proponuje się jednak przyjmować bardziej obiektywny wskaźnik bezwymiarowy, zdefiniowany następująco:

$$\sigma = \frac{\Delta b_0}{b_0} \tag{13}$$

Wskaźnik określony w ten sposób jest narzędziem uniwersalnym, pozwalającym na porównanie wpływów parametrów masowych, dyssypacyjnych i sprężystych badanego modelu na graniczną szerokość warstwy skrawanej.

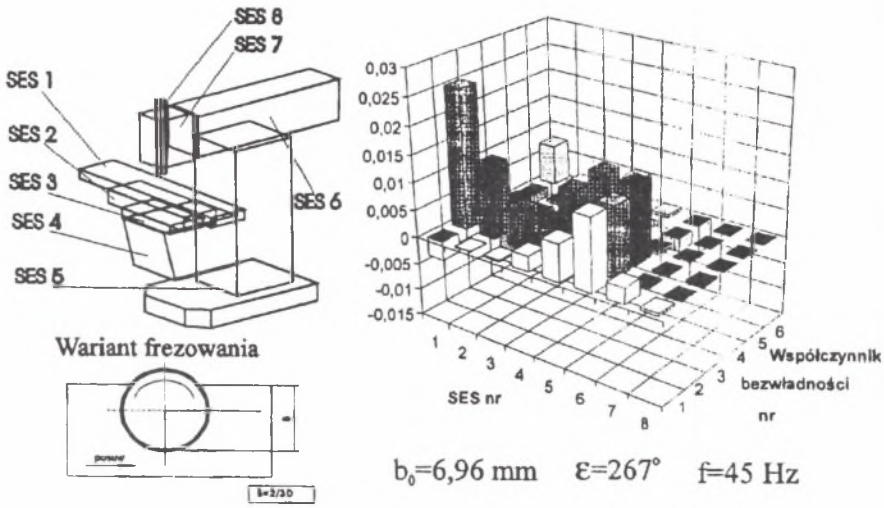
4. OCENA WRAŻLIWOŚCI GRANICY WIBROSTABILNOŚCI NA PARAMETRY MASOWE FREZARKI

Do badań analitycznych przyjęto model frezarki FWD-32J zbudowany z 8 sztywnych elementów skończonych (rys. 1). Przyjęto, iż frezowanie odbywa się frezem walcowo-czołowym o średnicy 63 mm, składającym się z 8 ostrzy. Ponadto założono prawy kierunek obrotów wrzeciona, stosunek szerokości frezowania do średnicy freza wynoszący 2/3 oraz prawy kierunek posuwu w pracy [4] określony jako P-2/3-P (rys. 1). Dla tak przyjętego modelu utworzono macierz podatności dynamicznej. Zbudowany model poddano analizie wibrostabilności, w wyniku czego wyznaczono parametry graniczne:

- graniczną szerokość warstwy skrawanej,
- kąt przesunięcia fazowego między zewnętrzną i wewnętrzną modulacją szerokości warstwy skrawanej,
- częstotliwość drgań samowzbudnych

Ponadto zbudowana została macierz procesu skrawania na granicy stabilności. Otrzymane rezultaty oraz macierze podatności dynamicznej i procesu skrawania stanowią wielkości wyjściowe do przeprowadzenia analizy wrażliwości. Obliczono wskaźniki wrażliwości (13) na parametry masowe wszystkich elementów badanego modelu przy założeniu 1% przyrostu Δm (Δm odpowiada przyrostowi Δy). Wyniki zaprezentowano na rysunku 1.

Na szczególną uwagę zasługuje fakt bardzo małej wrażliwości granicznej szerokości warstwy skrawanej na parametry masowe modelu wybranej frezarki. Potwierdza to tezę o niewielkim wpływie parametrów masowych na wibrostabilność. Można sądzić, iż modyfikacja modelu poprzez zmianę parametrów masowych nie przyniesie rezultatów w postaci znacznego podniesienia granicy wibrostabilności. Wniosku tego, ze względu na ograniczony jeszcze zakres badań, nie należy jednak traktować jako daleko idącego uogólnienia.



Rys. 1. Model wariantu frezowania oraz wskaźniki wrażliwości granicy wibrostabilności na parametry masowe modelu masowo-dyssypacyjno-sprężystego frezarki FWD-32J

Fig. 1. Model milling condition and sensitivity index to mass parameters of the stability limit od the FWD-32J milling machine mass-damping-spring system model

5. WNIOSKI KOŃCOWE

Opracowana metoda analizy wibrostabilności jest efektywnym narzędziem pozwalającym w matematyczny sposób wyznaczyć wpływ parametrów masowych modelu matematycznego obrabiarki na granicę wibrostabilności. Przeprowadzone analitycznie badania na modelu frezarki FWD-32J wykazały niską wrażliwość granicznej szerokości warstwy skrawanej na parametry masowe. Ewentualne niedokładności obliczeń mogą wynikać z przyjęcia tylko pierwszego członu rozwinięcia w szereg Taylora (7) oraz z błędów numerycznych. Zdefiniowany wskaźnik wrażliwości (13) może być zastosowany do badania wrażliwości na parametry dyssypacyjne i sztywnościowe modelu. Dlatego dalsze prace skoncentrują się na opracowaniu procedur analizy wrażliwości granicznej szerokości na te parametry.

Prezentowana praca wykonana została w ramach projektu badawczego nr 7 S102 003 07 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych.

LITERATURA

[1] Berczyński S.: Obliczenia dynamiczne napędów głównych obrabiarek. Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej. Nr 186, Szczecin 1982 (monografia).

[2] Kruszewski J. i inni: Metoda elementów skończonych w dynamice konstrukcji. Wyd. 1. Arkady, Warszawa 1984.

[3] Lisewski W.: Metoda doświadczalnego poszukiwania słabych ogniw w układzie masowo-sprężystym obrabiarki ze względu na jego wibrostabilność. Rozprawa doktorska, Politechnika Szczecińska, Szczecin 1991.

[4] Marchelek K., Pajor M., Tomków J.: Modelowanie i badania wibrostabilności frezarki FWD-32J w procesie projektowo konstrukcyjnym, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 1230, seria Mechanika, z. 115, Gliwice 1994, s. 233-239.

[5] Szwengier G.: Modelowanie i obliczanie projektowe układów prowadnicowych obrabiarek. Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej, nr 512, Szczecin 1994, (monografia).

[6] Tomków J.: Podstawy projektowych obliczeń wibrostabilności wielowymiarowego układu OUPN ze szczególnym uwzględnieniem modelowania dynamiki procesu skrawania, Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej, nr 429, Szczecin 1991 (monografia).

[7] Tomków J., Marchelek K.: Modelowanie członu procesu skrawania w wielowymiarowym układzie dynamicznym OUPN, Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej, nr 400, Szczecin 1989, s. 147 - 164.

[8] Żmijewski M.: Metodyka dynamicznych obliczeń układów korpusowych elementów obrabiarek, Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej, nr 180, Szczecin 1981 (monografia)

Recenzent: prof. dr hab. inż. A. Olędzki

Wpłynęło do Redakcji w grudniu 1994 r.