ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1993

Seria: MECHANIKA z. 113 Nr kol. 1198

Andrzej OLĘDZKI

Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej
Politechnika Warszawska

MODELOWANIE ZDERZENIA W PARACH KINEMATYCZNYCH Z WYKŁADZINAMI NIEMETALICZNYMI

Streszczenie. Opisano metodę postępowania, która pozwala przenieść wyniki doświadczeń (współczynnik restytucji oraz czas zderzenia w parze kinematycznej z luzem) do modelu relogicznego procesu zderzenia dostosowanego do badań symulacyjnych na komputerze.

MODELING OF IMPACTS IN KINEMATIC PAIRS WITH NONMETALLIC INSERTS

Summary. Method of building a rheological model of impacts in kinematic pairs with nonmetallic inserts and a backlash for purposes of computer simulation is described. Experimental data: coefficient of restitution and impacts time as functions of impacts velocity has been here used

МОДЕЛИРОВАНИЕ УДАРОВ В КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАХ С НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ БКЛАДЬШАМИ

Резюме. Описан метод переноса опытных данных [коэфицент востановления, время удара] на реологичную модель для целей компютерной симуляции ударов в кинематических парах.

1. UWAGI WSTĘPNE

Wkładziny niemetaliczne (np. tworzywa sztuczne) stosowane są w wielu praktycznych rozwiązaniach par kinematycznych. Ma to miejsce w przypadku klasycznych łożysk ślizgowych, a ponadto w różnego rodzaju zderzakach, ogranicznikach ruchu itp. Utrata styku w takich parach (związana z występującymi w nich luzami) wymaga uwzględnienia w modelowaniu układów zawierających te

pary procesów zderzeniowych. Wiąże się to z koniecznością budowy odpowiednich modeli reologicznych. Modele takie są stosunkowo słabo reprezentowane w literaturze fachowej, chociaż zderzeniom w parach "metal-metal" poświęcono już w przeszłości sporo uwagi ([1], [2] czy [4]). W niniejszej pracy przedstawiona jest próba budowy modelu reologicznego dla wybranego przypadku pary kinematycznej z luzem. Uzyskane wyniki są jeszcze dalekie od uogólnień i nie dają uniwersalnych recept na budowę modeli reologicznych dla podobnych przypadków, ale mogą być pomocne przy rozwiązywaniu zbliżonych problemów.

2. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU

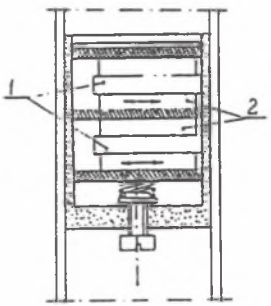
Rozpatruje się przypadek pary kinematycznej z luzem, w której sworzeń metalowy o średnicy d umieszczony jest w panwi o średnicy D z luzem l=D-d. Na powierzchni sworznia (lub panwi) znajduje się warstwa niemetaliczna (np. tworzywo sztuczne) o grubości g. Tym samym rzeczywisty luz jest równy $l_1 = l - 2g$. Zakłada się, że człony tworzące parę kinematyczną zderzają się ze względną prędkością zderzenia v_o, a po zderzeniu tracą styk.

3. PRZYPADEK SZCZEGÓLNY

Parę kinematyczną tworzy masa ruchoma eliminatora zderzeniowego drgań oraz fragment konstrukcji, której drgania mają być ograniczone przez eliminator [3]. Wykładzinę niemetaliczną zastosowano na masie ruchomej. Stanowi ją stosunkowo wąski i cienki pasek z tworzywa sztucznego wklejony w rowek masy ruchomej (rys.1).

Badania doświadczalne

Budowę modelu reologicznego poprzedziły badania doświadczalne na odpowiednim stanowisku (wahadło z masą skupioną; początkowy kąt wychylenia wahadła pozwalał na doświadczenie z różnymi prędkościami zderzenia). Celem tych badań było ustalenie zależności współczynnika restytucji R oraz czasu zderzenia t_{zd} od prędkości zderzenia v_0. Czas zderzenia był czasem trwania styku (elektrycznego). W celu umożliwienia pomiaru tego czasu niezbędne było naklejenie wąskiego paska folii metalowej na próbce z tworzywa.



Rys. 1. Eliminator zderzeniowy drgań
1-tworzywo sztuczne; 2-metalowy ruchomy element
Fig. 1. Impact damper
1-plastis; 2-metallic moveble part

Pasek ten powodował jednak wyraźne zwiększenie współczynników restytucji [prawie równoległe przesunięcie krzywych $R(v_o)$]. Podobne badania w przyszłości należy więc przeprowadzać z napyloną warstwą metaliczną, która w mniejszym stopniu wpłynie na własności reologiczne próbki.

Elementy zderzające się wahadła dostosowano do warunków urządzenia z rys.1 (takie same promienie powierzchni cylindrycznych; zbliżona masa zredukowana wahadła do masy ruchomej eliminatora). Przykładowe wyniki badań dla dwóch różnych tworzyw sztucznych przedstawiono na rys.2. Dotyczą one próbek z naklejonymi paskami folii metalowej. Wybrano tu świadomie 2 różne materiały, różniące się znacznie właściwościami dyssypacyjnymi. Podobny charakter miały krzywe $t_{zd}(v_0)$ - czas zderzenia rósł ze spadkiem v_0.

Model reologiczny

Do budowy modelu reologicznego procesu zderzenia wykorzystano dane uzyskane z badań próbek z naklejonymi paskami folii, chociaż badania te dawały zawyżone wartości R. Zastosowana tu metodyka opracowywania modelu reologicznego może być jednak powtórzona dla dowolnych danych doświadczalnych.

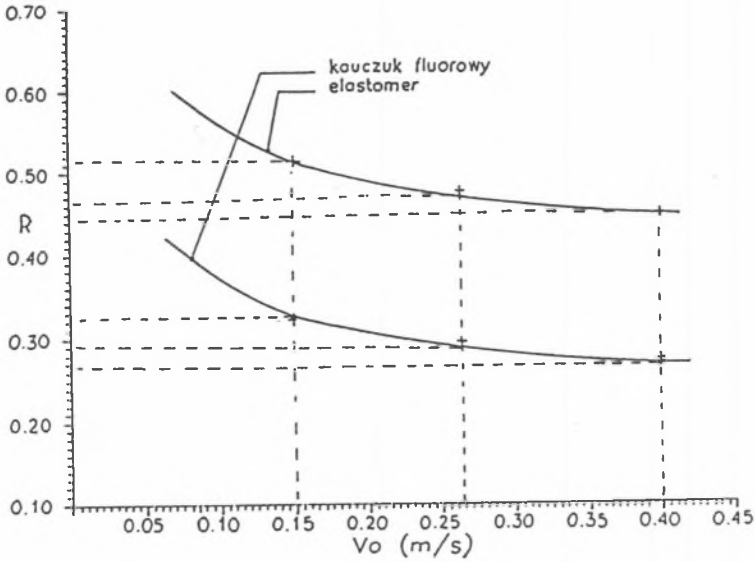
Model fizyczny rozpatrywanego procesu zderzenia ilustruje rys.3. Jego model matematyczny może mieć postać dla $|x|>=l/2$

$$mx + ax|x^b| + c\dot{x}|\dot{x}^d| = 0 \qquad (1)$$

Zakładając b = c = 0, można oszacować pierwsze przybliżone wartości a ze związku

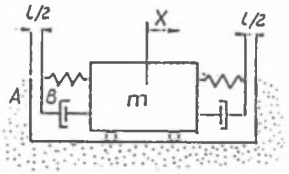
$$a = \frac{\pi^2 m}{t_{zd}^2} \tag{2}$$

gdzie: t_{zd} - średnia wartość rzeczywistego czasu zderzenia,
m - masa części ruchomej.



Rys. 2. Wyniki badań doświadczalnych
"+" wartości uzyskane ze wzoru (1)
Fig. 2. Results of experiments
"+" values obtained from eq. (1)

Próba wykorzystania tu wartości sztywności statycznej dała znaczne rozbieżności z doświadczeniem. Pomiary tej sztywności ("rosnąca") zasugerowały jednakże postać sił sprężystych w (1). Dla b = 0 oraz d = 1 (tłumienie kwadratowe, siła sprężysta liniowa) przeprowadzono próbę rozwiązania (1) przybliżoną metodą Kryłowa-Bogolubowa. Dało to jednak wyniki rozbieżne z wynikami doświadczalnymi. Zdecydowano się więc na określenie 4 nieznanych parametrów (1) metodą symulacji komputerowej, przy użyciu programu CSSP. W badaniach symulacyjnych przyjęto, że punkty A i B na rys.3 są połączone na stałe, a warunki początkowe dla masy m są $x_o = 0$, $\dot{x}_0 = v_0$. Uzyskaną w wyniku symulacji minimalną wartość $\dot{x}_{min}$ uznawano za prędkość odbicia ($R = v_0 - \dot{x}_{min}$), a czas, w jakim osiągano wartość $\dot{x}_{min}$ - za czas zderzenia t_{zd}.



Rys. 3. Model fizyczny
Fig. 3. Physical model

Po przyjęciu a wg (2), metodą kolejnych prób symulacyjnych określano wartości b, c, d oraz skorygowaną wartość a, tak aby wyniki badań symulacyjnych pokrywały się z wynikami doświadczeń. Czas pracy na komputerze PC (dla obydwu próbek) był tu rzędu 2 godzin. Uzyskane wyniki ilustruje następująca tabela

	Kauczuk fluorowy		Elastomer poliuretanowy	
v_0	0,15 m/s	0,4 m/s	0,15 m/s	0,4 m/s
R	0,324 (0,32)	0,274 (0,27)	0,512 (0,51)	0,453 (0,45)
t_{zd}	3,2 ms (3,5)	3 ms (2,9)	2,55 (3)	2,45 (2)

w nawiasach podano wartości uzyskane doświadczalnie.
Wyniki te otrzymano dla wartości parametrów:

	Kauczuk fluorowy	Elastomer
a	500 000	800 000
b	0,11	0,1
c	4,10	285
d	0,22	0,22

4. WNIOSKI

Badania doświadczalne wykazały dodatkowo, że charakter krzywych z rys.2 może być różny dla różnych wartości m (masa wahadła zredukowana do punktu zderzenia). Przy określaniu parametrów modelu reologicznego (1) niezbędne są więc wyniki doświadczeń przeprowadzonych z zachowaniem zgodności parametrów wahadła (masa zredukowana, promienie krzywizny zderzających się elementów oraz powierzchnia przekroju poprzecznego wykładziny) z parametrami modelowanej pary kinematycznej. Można oczekiwać, że budowa uniwersalnego modelu reologicznego podobnej pary kinematycznej nie będzie tu łatwa.

W modelu wg (1) założono 2 elementy nieliniowe połączone równolegle. Taki model pozwala na dostatecznie wierne odtworzenie zależności $R(v_0)$, ale uzyskiwane przy jego użyciu zależności $t_{zd}(v_0)$ są obarczone dość dużym błędem. Dokładniejsze odtworzenie tej zależności wymaga rozbudowy modelu reologicznego (np. przez zastosowanie dodatkowego elementu sprężystego połączonego szregowo z tłumikiem).

LITERATURA

[1] Crossley F., Hayashi T., Larionescu D.: Multiple impacts of a ball between two plates, Proceedings of IV IFToMM Congress, Newcastle, England, 1975.

[2] Dubovsky S.: The dynamic response of mechanical and electro-mechanical systems, Ph.D.Thesis, Columbia University, USA, 1971.

[3] Olędzki A.: Eliminatory zderzeniowe drgań w zastosowaniu do długich rur i prętów, materiały XIII Konferencji TMM, Mielno-Koszalin 1992 (w druku).

[4] Szydłowski W.: Model obliczeniowy procesu zderzenia w parze kinematycznej z luzem. Niepublikowane sprawozdanie PBP I.2, Pol.Warsz., Warszawa 1976.

Recenzent: Prof. Ryszard Gryboś

Wpłynęło do Redakcji dnia 23.11.1992

Abstract

Nonmetallic inserts are present in kinematic pairs of many contemporary mechanisms. Modeling of impacts in such pairs in case of backlash needs a proper rheological model. Using experimental data of a certain kinematic pair (impact damper-Fig.1) its physical and mathematical model has been built for purposes of computer simulation.

Two different plastics were taken into consideration: polyurethane elastomer and fluorine-rubber. Diagrams of $R(v_0)$-coefficient of restitution as a function of impacts velocity are given in Fig.2. Results obtained from the simulation model (1) are denoted by "+".

A good agreement between experimental and simulation results was obtained for values of coefficient of restitution as a function of impacts velocity. Better agreement between impact times will need, however, more sophisticated model.