



30th Conference of Experimental Stress Analysis
 30. konference o experimentální analýze napětí
 2. - 5. 6. 1992 ČVUT Praha Czechoslovakia

DYNAMIC STIFFNESS AND DAMPING OF COMPOSITE MATERIALS DYNAMICKÁ TUHOST A TLUMENÍ KOMPOZITOVÝCH MATERIÁLŮ

Beneš J., Veselý E., Veselý J., Šebková H.

In this paper a method based on the analysis of bending vibration will be presented. The development of this method was induced by the need to ascertain the dynamic bending rigidity and damping of composite materials used in constructions of aircraft shell-components. The method was used for determination of this material characteristic in dependency on frequency of vibration -up to 5 kHz and in temperature region $(-60 \div 80)^{\circ}\text{C}$.

Composites, dynamics, bending, rigidity, damping.

Jednou z možností efektivní konstrukce intenzivně akusticky zatěžovaných skořepinových částí letadel, ale i částí karoserií moderních kolejových vozidel, je využití kompozitových materiálů. Naše pozornost byla věnována kompozitovým materiálům tvořeným nosným duralovým plechem s vrstvou laminátu či plastu. Využití těchto typů kompozitů vede ke zvýšení útlumu i ke zvýšení tuhosti, což umožňuje často potřebné frekvenční přeladění navrhovaných dílů. V souvislosti se spektrem budících sil je možno v konečném důsledku snížit namáhání jednotlivých částí konstrukce. Vlastnosti kompozitů potřebné pro výpočet či korekci konstrukce jsou závislé na vlastnostech jednotlivých komponent, na složení kompozitu i na technologických podmínkách

při výrobě. Vzhledem ke složitosti vzájemných vazeb je možné je stanovit pouze experimentálně.

Kompozitové stěny vyšetřovaných skořepin jsou tvořeny podložkou z duralového plechu na jejíž jedné straně jsou aplikovány vrstvy plastu či laminátu.

Tlumení kompozitových materiálů je závislé na materiálovém útlumu jednotlivých komponent a na tlumení vlastní konstrukce kompozitu. Obě tyto složky jsou dále závislé na způsobu i velikosti namáhání. Souhrnně je řada problémů souvisejících se stanovením tlumení popisována v [1].

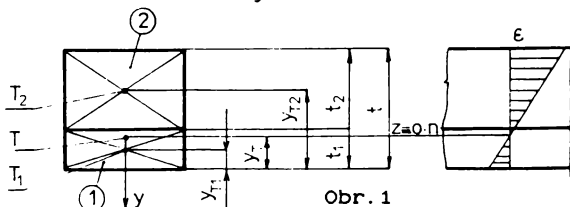
Velmi obtížně stanovitelné exaktní materiálové vlastnosti jsou navíc složitě aplikovatelné při určování parametrů potřebných pro výpočet a analýzu reálných konstrukcí. Proto jsme při návrhu experimentů vycházeli z jejich realizačního uplatnění, tj. při kmitání skořepinových konstrukcí. V tomto případě je rozhodující namáhání ohybem. Je tedy potřeba stanovit jejich dynamickou ohybovou tuhost a součinitel tlumení. S ohledem na možnost uplatnění parazitních vlivů způsobených nedokonalou rovinností plechů i jejich uložením jsme se rozhodli použít při zkouškách nosníkové vzorky.

Zkušební vzorky byly nosníky velikosti $l \cdot b \cdot t$, kde

l - délka vzorku, b - šířka vzorku

$t = t_1 + t_2$ - tloušťky; t - vzorku, t_1 - duralové podložky,

t_2 - nalaminované vrstvy



Obr. 1

Dynamickou ohybovou tuhost i součinitel útlumu jsme vyhodnocovali analýzou rezonanční charakteristiky při vynuceném ohybovém kmitání [5,7]. Podle Saint-Venantova principu předpokládáme namáhání průřezu nosníku pouze ohybovým momentem. Podle Bernoulliho-Navierovy hypotézy budou poměrné deformace ϵ úměrné vzdálenosti y od centrálního bodu T . Střednice spojující jednotlivé T všech průřezů nosníku se deformuje jen v příčném směru, osa průřezu z je osou neutrální.

Průřezovou charakteristiku kompozitového vzorku J_z^* podle obr. 1 je možné vypočítat ze vztahů odvozených v [3 a 5]:

$$12.J_z^*/b.t_1^3 = 1 + 12(0.5 - y_T/t_1)^2 + E_2/E_1 \cdot [(t_2/t_1)^3 + 12.t_2/t_1(1 + t_2/(2t_1) - y_T/t_1)^2], \quad (1)$$

kde

$$y_T/t_1 = \{E_2/E_1 [(t/t_1)^2 - 1] + 1\} / \{2 [E_2/E_1 (t/t_1 - 1) + 1]\}. \quad (2)$$

E_1 a E_2 jsou moduly pružnosti v tahu základního materiálu 1- duralu a přidavného laminátu 2.

Dále platí vztahy [5]

$$D^* = 2\pi l^2 \cdot f / (\alpha l)^2 \quad (3)$$

$$a \quad D^{*2} = E_1 J_z^* / \rho_l. \quad (4)$$

D^* je tuhostní parametr, f vlastní (rezonanční) frekvence, (αl) odpovídající vlastní číslo příslušného tvaru kmitu, l účinná délka vzorku a ρ_l hmota jednotkové délky nosníku.

Známe-li rozměry vzorku t_1 , t_2 , b , l a modul pružnosti vztazného materiálu E_1 , jsou neznámými v rovnicích (1) - (4) veličiny D^* , J_z^* , y_T , E_2 a f . Známe-li jednu z těchto veličin můžeme ostatní vypočítat. V úvahu přicházejí dvě úlohy

- 1) Určení modulu pružnosti přidavného materiálu E_2 ze změřené rezonanční frekvence f .
- 2) Určení vlastních frekvencí f nosníkových vzorků pro známý modul pružnosti E_2 .

Při vyhodnocování dynamických tuhostních vlastností byl vliv tlumení zanedbán.

Součinitel útlumu je možné definovat různými způsoby [1,2,5,6,7]. Předpokládáme, že tlumené kmitání nosníku můžeme popsat vztahem

$$w = w_{(x)} \cdot e^{(-\alpha + i\omega)t} = w_{(x)} \cdot e^{-\alpha t} \cdot e^{i\omega t} \quad (5)$$

kde w je příčná výchylka, t čas, a součinitel tlumení, ω - kruhová frekvence. Pak logaritmický dekrement útlumu ϑ je definován $\vartheta = 2\pi\alpha/\omega$.

Pro relativní tlumení ζ platí :

$$\zeta = \alpha/\omega = \vartheta/(2\pi) \quad (6)$$

Zavedeme-li komplexní modul pružnosti $E = \bar{E} + i\bar{E}$ pak pro faktor tlumení δ platí

$$\delta = \operatorname{tg} \varphi = \bar{E}/\bar{E}.$$

Podle [4,6] platí $\delta = \vartheta/\pi$, φ někdy nazýváme ztrátovým úhlem. Platí tato vzájemná relace mezi jednotlivými parametry tlumení

$$\delta = 2\zeta = \vartheta/\pi$$

Tlumení můžeme vyhodnotit

- 1) Z dozívání kmitání

2) Z měření šířky rezonančního vrcholu

3) Ze stanovení složek komplexního vlastního čísla $-a+i\omega$ [2]

4) Ze stanovení komplexního modulu pružnosti $\bar{E}+i\bar{E}$ [4,6]

Měřicí postupy mohou vycházet z analýzy při harmonickém buzení anebo z Fourierovy analýzy při buzení pulsním.

Pro popsanou metodiku bylo v ÚT ČSAV sestaveno potřebné experimentální zařízení, které bylo použito pro identifikaci vlastností kompozitových vzorků s duralovým podkladem. Pro vyhodnocení parametru tuhosti D^* byla využita analýza kmitání volně uložených vzorků analyzátozem Bruel & Kjaer 2034 spolu s programovým vybavením pro vyhodnocení vlastních čísel a vlastních tvarů vyvinutým v ÚT [2, 7].

Tlumení bylo vyhodnocováno jednak vyhodnocením vlastních čísel již zmíněným způsobem jednak z vyhodnocení šířky rezonančních vrcholů příslušných ohybovým tvarům kmitání konzolového nosníku. Výsledkem zkoušek různých kompozitových vzorků dodaných podnikem AERO-Vodochody byly průběhy modulu pružnosti přídavného materiálu a výsledné tlumení v závislosti na teplotě ($-60 \div 80$)°C a na frekvenci; až do 5 kHz pro různé poměry tloušťek t_2/t_1 [5].

Literatura

- [1] Goodman, L.E.: Material and Slip Damping in Shock and Vibration, Handbook, Mc Graw-Hill, New York, 1961 - [2] Kozánek, J.: Vyhodnocení přenosové funkce z naměřených dat, Strojnícky časopis, str.33, č.3, 1982 - [3] Pilkey, W.D., Chang, P.Y.: Modern Formulas for Statics and Dynamics, Mc Graw-Hill, New York, 1978- [4] Martinček, G.: Niektoré problémy dynamiky vazkopružných telies, Výzkumná zpráva, ÚSTARCH SAV, Bratislava, 1974 - [5] Beneš, J., Veselý, E., Veselý, J., Šebková, H.: Měření dynamického parametru tuhosti a tlumení kompozitových vzorků, Zpráva ÚT ČSAV Z 1186/92, 1992 - [6] Martinček, G.: Teória a metodika dynamického nedeštruktívneho skúšania plošných prvkov, Veda, Vydavateľstvo SAV, Bratislava, 1975 - [7] Horáček J., Trnka J.: Dynamické vlastnosti potahových polí letounu. Sborník 26.akustické konferencie Vysoké Tatry 1987, I.díl.

Josef Beneš, Ing.CSc.; Eduard Veselý, Ing.CSc.; Jan Veselý, Ing.; Helena Šebková, Ing.CSc.;

Ústav termomechaniky ČSAV, Dolejškova 5, 182 00 Praha 8
tel.+422/815 3213, fax.+422/858 4695