

E xperimentální A nalýza N apětí 2004

EXPERIMENTAL VERIFICATION OF FEM COMPUTATIONS OF SANDWICH STRUCTURES

EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ MKP VÝPOČTU SENDVIČOVÝCH STRUKTUR

Václava Lašová¹, Petr Šedivý²

The paper deals with experimental verification of FEM computations of bending stressed sandwich beams consisting of polyurethane foam core and fiber composite coat.

Computations will be carried out in ANSYS program and in conclusion results acquired by means of various elements will be compared with measured values.

Keywords: FEM, composite materials, sandwich construction, glass fibers, ANSYS

Klíčová slova: MKP, kompozit, sendvičová konstrukce, skelná vlákna, ANSYS

Úvod

V současné době dochází k velmi rychlému rozvoji v oblasti vláknových kompozitů a potažmo i sendvičových struktur. Toto je způsobeno především snahou o využití odpadních ropných produktů a současně rostoucími požadavky na konstrukci lehkých a tuhých dílů. Sendvičové struktury složené z potahu z vláknových kompozitů a polyuretanových nebo epoxidových pěn dosahují velké tuhosti při malé hmotnosti a dobře tlumí kmitání. Jejich širšímu uplatnění však brání především částečná neznalost výpočtových postupů i chování materiálů v delším časovém horizontu a poměrně vysoké ceny.

Cílem této práce je provést výpočet sendvičového nosníku namáhaného na tříbodový ohyb pomocí různých prvků v programu ANSYS a výsledky porovnat s experimentálně získanými hodnotami.

¹ Ing. Václava Lašová Ph.D.: Katedra konstruování strojů, FST, ZCU ; Univerzitní 8, 306 14 Plzeň, ČR, tel.: +420377638264, e-mail: lasova@kks.zcu.cz

² Ing. Petr Šedivý: Katedra konstruování strojů, FST, ZCU ; Univerzitní 8, 306 14 Plzeň, ČR, tel.: +420377634846, e-mail: pshedivy@kks.zcu.cz

Možnosti MKP systémů

Ve většině moderních MKP systémů a velkých CADů je standardní součástí modul pro výpočet laminátů. I MKP systém Ansys obsahuje takový modul a nabízí následující prvky určené pro výpočet vláknových kompozitů. Pro skořepiny parabolický osmibodový prvek SHELL 99, který umožňuje modelovat lamináty až z 250 lamin o konstantní tloušťce, dále parabolický osmibodový prvek SHELL 91, jenž dokáže popsat maximálně 16 vrstev, jejichž tloušťka se může po ploše lineárně měnit. Pro modelování objemů jsou určeny prvky SOLID 46 a SOLID 191. SOLID 46 je lineární osmibodový prvek, který umožňuje modelovat 250 vrstev o konstantní tloušťce, SOLID 191 je parabolický dvacetibodový prvek schopný popsat maximálně 16 lamin o konstantní šířce.

Způsoby modelování nosníku

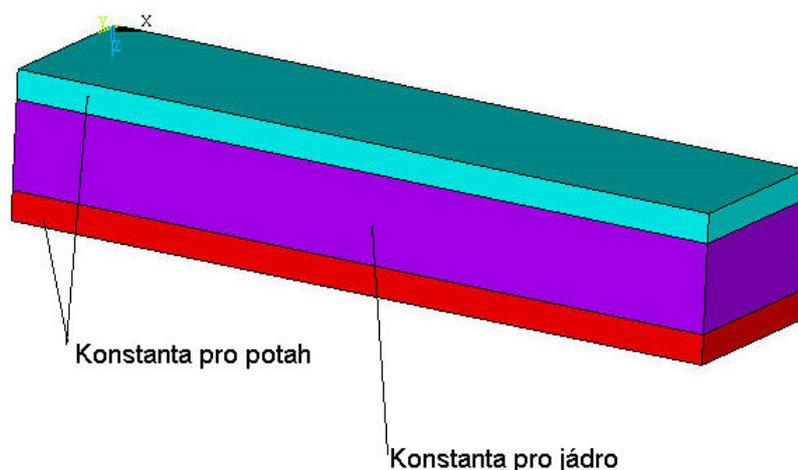
Výpočty byly provedeny pro následující způsoby modelování se zohledněním využití modelu pro různé součásti.

a) Skořepinový model

Pomocí prvků SHELL 99 a SHELL 91 byl proveden výpočet nosníku idealizovaného na desku. Tento model by měl být vhodný především pro výpočet sendvičových desek a nosníků o malé výšce.

b) Objemový model

Prvky SOLID 46 a SOLID 191 byl vytvořen objemový model, přičemž se podle způsobu modelování a přiřazení reálných konstant k objemům byly použity dvě varianty. Jednak modelování nosníku jako jednoho objemu, ke kterému je přiřazena jedna sada konstant popisující celý sendvič a dále dělení na tři objemy (obr. 1), kde je k potahu přiřazena jedna sada konstant a k jádru druhá. Takto volený typ modelu by měl najít uplatnění při výpočtech silnějších sendvičových struktur s konstantní tloušťkou.



Obr. 1: Dělení nosníku na tři objemy

c) Jádru tvořené objemovými prvky a potah skořepina

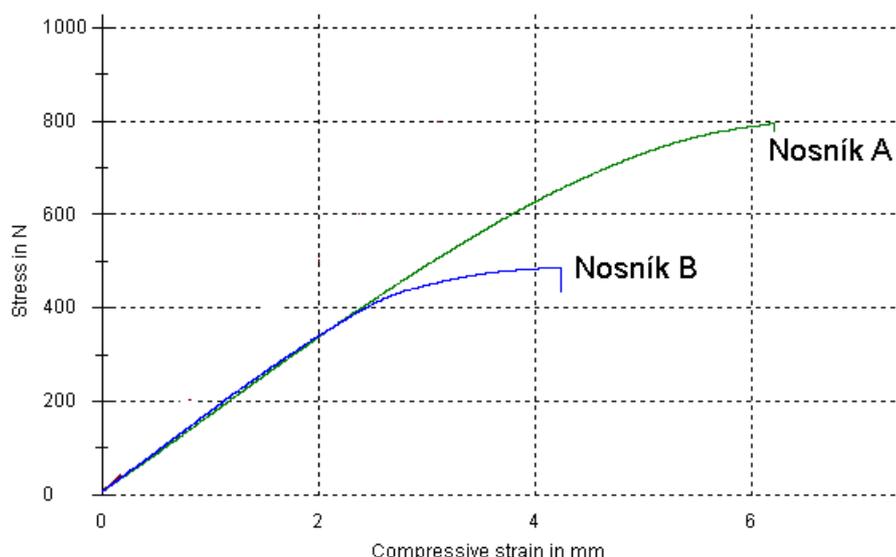
Model byl vytvořen pomocí běžných objemových prvků pro isotropní materiál a potah nasítován na plochu pomocí skořepinových prvků SHELL 99 nebo SHELL 91. Takto řešený model by měl být vhodný pro uzavřené profily s výplní a i tvarově složité díly.

Měření

Bylo provedeno měření dvou nosníků tvořených jádrem z polyuretanové pěny s potahem ze skelných vláken spojených polyesterovou pryskyřicí o rozdílných rozměrech na tříbodový ohyb. Vzdálenost podpor činila 200 mm a síla působila na střed nosníku. Při měření se snímala deformace na příčnicku trhačky a diagram je na obr.2

Nosník A se skládal z jádra o rozměrech 270x48x12 a byl potažen na horní i spodní straně čtyřmi vrstvami skelné tkaniny o hmotnosti 300 g/m² s polyesterovou pryskyřicí.

Nosník B se skládal z jádra o rozměrech 270x34x22 a byl potažen na horní i spodní straně třemi vrstvami stejné skelné tkaniny jako nosník A.



Obr. 2: Tahový diagram

Výsledky výpočtů

Výpočty byly provedeny pro zatížení silou 400 N a výsledky jsou uvedeny v tabulce 1.

Model	Nosník A		Nosník B	
	průhyb [mm]	chyba %	průhyb [mm]	chyba %
Shell 91	0,62	-74,6	0,503	-79,4
Shell 99	0,59	-75,8	0,48	-80,3

Solid 191	1 sada	1,26	-48,3	1,71	-29.9
	2 sady	2,59	4,1	2,51	2.8
Solid 46	1 sada	4,06	66,4	3,69	51.2
	2 sady	2,686	10,1	2,64	8.2
Jádro Solid 95		4,174	71	3,61	47.9
Potah Shell 191					
Jádro Solid 95		3,92	65,8	3,21	31.5
Potah Shell 191					
Naměřený průhyb		2,44		2,44	

Tabulka 1

Závěr

Z tabulky výsledků je zřejmé, že jediný postup výpočtu použitelný pro technickou praxi je pomocí objemových prvků a dvou sad konstant. Výsledné chyby do 10% jsou více než příznivé, uvážíme-li, že materiálové konstanty pro výpočet byly zjišťovány zčásti pomocí měření a z části výpočtem, měřené nosníky neměly identické vlastnosti jako při výpočtu a vlastní měření také není zcela bezchybné. U struktur s relativně měkkým jádrem je nutné provést reálné modelování podpěr, to znamená, že není vhodné jako je běžné u kovů zadávat okrajové podmínky na hranu, ale minimálně o výšku sendviče od okraje (není-li skutečná podpěra blíže k hraně), jinak se ve výsledku výpočtu nepřiměřeně projeví tlaková deformace v oblasti nad podporou. Tato tlaková deformace byla i při měření velmi dobře sledovatelná pouhým okem u nosníku A od zatížení nad 600 N a u nosníku B od síly přesahující 400 N.

Průhyby získané pomocí skořepinových modelů jsou menší než skutečná deformace nejspíše proto, že není při výpočtu uvažována výše zmiňovaná tlaková deformace jádra a nepřesnost ostatních modelů je asi způsobena jinými idealizacemi v postupech Ansysu.

Výše uvedené výsledky dokazují, že i přes rozvinutost MKP systémů neztrácí experimentální ověření výpočtových postupů minimálně v oblasti vláknových kompozitů na významu. Například teoreticky správný objemový model s jednou sadou konstant dosahoval chyby až 65% proti naměřené hodnotě.

Literatura

- [1] Lenert, J: *Mechanika kompozitních materiálů* – TU Ostrava, 2002, 120 stran
- [2] Matthews, F: *Finite element modeling of composite materials and structures* -RC Press, Cornwall VB, 2000, 216 stran