EAN '94

32th Conference of Experimental Stress Analysis
32. konference o experimentální analýze napětí
30. 5. - 2. 6. 1994 VŠST Liberec Czech Republic

A COMPARISON OF RESULTS OF NUMERICAL AND EXPERIMENTAL PROCEDURES FOR THE DETERMINATION THE STRESS FIELDS IN THE LOAD-BEARING ELEMENTS MADE OF COMPOSED MATERIALS

POROVNANIE VÝSLEDKOV NUMERICKÝCH A EXPERIMENTÁLNYCH POSTUPOV PRE URČENIE NAPÄŤOVÝCH POLÍ V NOSNÝCH PRVKOCH ZO ZLOŽENÝCH MATERIÁLOV

Trebuňa, F., Buršák, M.

The determination accuracy of technical constants of composed materials has a great importance for the numerical and experimental determination of the state of stress and for the judgement of the stiffness of parts and constructions made of composed materials. The values of modulus of elasticity determined by now applied procedures, are different, and therefore it is necessary to give an extraordinary attention to the here introduced methods.

Pri navrhovaní nosných prvkov sa čoraz častejšie uplatňujú materiály, ktoré svojimi vlastnosťami zaručujú bezpečné prevádzkovanie počas požadovanej životnosti a ich vlastnosti možno výrazne ovplyvňovať vlastnosťami materiálových zložiek, ich distribúciou a vzájomnou interakciou. Ide predovšetkým o použitie vystužených materiálov, ktorých štruktúra je daná obsahom vlákien, ich orientáciou, tvarom prierezu vlákien, ale i použitou matricou. Aj keď v poslednom období je tvorbe a optimalizácii nosných prvkov z takýchto materiálov (1) venovaná mimoriadna pozornosť, navrhovanie sa vykonáva empirickými metódami cestou postupného zdokonaľovania empirických vzorov, čo je experimentálne, časovo i ekonomicky veľmi náročné. Príčinou tohto stavu je nedostatočné poznanie chovania sa zloženého materiálu, jeho charakteristík, ako aj použitie nie celkom vhodných analytických, numerických ba i experimentálnych postupov. Experimentálne riešenie otázok únosnosti, tuhosti ale i

životnosti vyžaduje systémový prístup (2, 3, 4).

Najdôležitejšou triedou kompozitných materiálov, ktoré sú schopné dosahovať vysoké pevnosti, sú v súčasnosti vláknové kompozity. Môžu byť buď jedno alebo viacvrstvové. Jednovrstvové môžu byť v skutočnosti vytvorené i z niekoľkých samostatných vrstiev, z ktorých každá má tú istú orientáciu a tie isté vlastnosti. Pri uhlovom vrstvení hovoríme o viacvrstvovom kompozite.

Pri jednovrstvových kompozitoch vystužených spojitými vláknami predpokladáme, že zaťaženie pôsobí priamo na vlákna, a vlákna v smere namáhania sú hlavnou nosnou zložkou. Jednosmerne vystužené kompozity sú veľmi pevné v smere vlákien, ale obyčajne veľmi slabé v smere kolmom na smer vlákien. Vyrovnanejšie vlastnosti v tomto smere sa dosiahnutú spojitým vystužením v druhom smere a to buď použitím tkaniny alebo pramencovej rohože.

Ďalší možný, aj keď zatiaľ zriedkavejší, spôsob zvýšenia pevnosti aj v smere kolmom na smer vlákien je použitie kompozitných materiálov vystužených páskami, ktorých šírka je podstatne väčšia ako ich hrúbka. Vhodným usporiadaním pásiek v jednom smere možno dosiahnuť až izotropné vlastnosti. Výhodou takto vystuženého materiálu je veľká odolnosť proti prerazeniu ostrými predmetmi, nižšia priepustnosť plynov a kvapalín a tiež môžu mať vyšší objemový podiel vlákien ako v prípade použitia vlákien kruhového prierezu.

V prípade páskového kompozitu priečne charakteristiky budú rovnaké ako pozdĺžne, ak poruchy pásiek nastanú pozdĺžnym rozštiepením a nie interlaminárnym šmykom. Podstatou pre dosiahnutie vysokej medze pevnosti páskových kompozitov je dobrá adhézia medzi matricou a výstužou. Ak je medzifázová väzba slabá, klesá pevnosť rapídne s koncentráciou pásiek. Hodnoty môžu byť nízke i pri dobrej adhézii, ak matrica nemá požadované vlastnosti. Vysoká húževnatosť matrice s vysokým medzným pretvorením minimalizuje účinok tepelných napätí vyvolaný výrobným procesom. Pre správnu funkciu kompozitu vystuženého páskami je nevyhnutné pravidelné usporiadanie pásiek, prekrytie všetkých plôch nad kritickú hodnotu, vylúčenie bublín a miest so zlou adhéziou. Uvedené skutočnosti výrazne ovplyvňujú vlastnosti kompozitu a nie je ich možné v plnej šírke analytickými ani numerickými postupmi zohľadniť. Táto skutočnosť otvára ďaleko širšie možnosti pre experimentálne postupy.

Analytické, numerické i experimentálne postupy určenia napätosti v nosných prvkoch zo zložených materiálov vyžadujú poznanie technických konštánt pre elastické matice pružnosti kompozitu, ktorých určenie je popísané v rôznej literatúre (5, 6) a je tiež obsahom platných noriem ČSN (7, 8, 9). Norma ČSN 64 0614 "Skúšanie plastických hmôt - stanovenie modulu pružnosti zo skúšky ťahom, tlakom a ohybom" určuje postupy, ktoré boli aplikované na vzorky sklolami-

nátov, kde ako výstuž bola použitá pramencová rohož ES 22-300 (PR 300) a ES 22-450 (PR-450) a pramencová tkanina V 1313-340/651 (ST 340) a V 1313-490/651(ST 490). Ako matrice boli použité polyesterové živice CHS Polyester 141, CHS Polyester 222 a Veropal 223. Vzorky boli vyrobené metódou kontaktného laminovania a strojného navinovania. Obsah sklovitej časti sa pohyboval pri pramencových rohožiach od 30 po 35 % a pri pramencových tkaninách od 54 po 60 %. Počet vrstiev bol od dvoch po desať.

Analytickým a experimentálnym postupom boli zistené zásadné rozdiely v hodnotách modulov pružnosti v priečnom a pozdĺžnom smere a z tohto dôvodu bola v ďalšom postupe venovaná mimoriadna pozornosť metodike určenia týchto materiálových konštánt.

Riešenie otázok určenia napäťových polí v súčiastkach z ortotropného kompozitného materiálu vyžaduje poznanie štyroch konštánt pre určenie elastickej matice pružnosti. O jednej z metód určenia týchto konštánt pojednáva práca (10). V ďalšej časti príspevku je venovaná pozornosť určeniu modulu pružnosti z ohybovej skúšky postupom ST SEV 2345-80, metóda A. Podľa tohto postupu hladký povrch skúšobnej vzorky namáhanej ohybom je ťahaný. Skúšobné teleso má normou určený tvar a rozmery. Je zaťažované vypočítanou rýchlosťou a registrovaná je závislosť priehybu na sile. Skúšku je potrebné vykonať tak, aby v povrchových vláknach bola deformácia 0,5 %. zdialenosť podpier.

Modul pružnosti pri trojbodovom ohybe sa určí zo vzťahu:

$$E = \frac{L_v(F_2 . F_1)}{4\, b\, h^3 (z_2 - z_1)}$$

kde $\mathbf{F_1}$ a $\mathbf{z_1}$ je sila a priehyb pri pomernej deformácii 0,1 %, $\mathbf{F_2}$ a $\mathbf{z_2}$ sú odpovedajúce hodnoty pri pomernej deformácil 0,3 %, **b** je šírka vzorky, **h** je hrúbka vzorky a $\mathbf{L_v}$ je vzdialenosť podpier.

Únosnosti v ohybe sú definované pomocou ohybovej pevnosti R_{fi}:

$$P_{mi} = R_{fi} . b^2$$

Pevnosť v šmyku medzi vrstvami vystužených plastov podľa ČSN 64 0662 je:

$$\tau_{PS} = \frac{F_m}{b.e}$$

kde F_m je najväčšie zaťaženie dosiahnuté pri skúške a **e** je vzdialenosť medzi zárezmi z jednej a druhej strany. Všetky skúšky boli vykonané na trhacom stroji ZWICK 1387. Zo získaných záznamov boli určené údaje maximálnej sily a priehyb vzoriek, z ktorých podľa uvedených vzťahov boli vypočítané príslušné hodnoty. Pri približne rovnakom percentuálnom obsahu sklenených vlákien boli zo skúšky v ohybe zistené výrazné zmeny v hodnote modulu pružnosti.Pri určení napäťových polí v súčiastkach zo zložených materiálov analytickými, numerickými alebo experimentálnymi postupmi sú hodnoty napätí závislé od presnosti určenia technických konštánt zloženého materiálu. Expertízy havárie nosných prvkov a konštrukcií potvrdzujú, že výrazný podiel na nich majú nepresné vstupy týchto konštánt. Táto skutočnosť vyvoláva potrebu revidovať doteraz bežne používané metodiky ich určenia i prípadnú revíziu platných noriem.

Použitá literatúra:

(1) Šimčák, F.: Znižovanie hmotnosti nosníkov z nehomogénnych materiálov. In: Zborník vedeckých prác VŠT v Košiciach, 1990, Alfa, Bratislava, 1990.

(2, 3, 4) Janíček: Systémový přístup k technickému experimentu I., II., III. In: Strojnícky časopis 44; č.3,4,5; SAV Bratislava, 1993.

(5) Pavlík, M.: Riešenie dosiek metódou moiré. In: Zborník ved. prác SvF SVŠT Bratislava, 1971.

(6) Pavlík, M.: Modelové riešenie ohybových účinkov. In: 9. Medzinárodná vedecká konferencia VŠDS Žilina, 1993.

(7, 8, 9) Normy ČSN 64 0614,ČSN 64 0605, ČSN 64 0607.

(10) Jurica, V., Trebuňa, F., Klinda, A.: Hardwarové a softwarové vybavenie pre automatizované meranie technických konštánt systémom LIMS. In: Experimentální analýza napětí 94, VŠST, Liberec, 1994.

(11) Šimčák,F., Klinda,A.: Výpočet tenkostenných prizmatických prvkov z nehomogénnych materiálov. In: Strojnícky časopis 44, č.6, SAV Bratislava 1993.

František Trebuňa, Doc. Ing. CSc., Marián Buršák, Doc. Ing. CSc.

Technická univerzita, Košice

Tel.: 095/ 353 12