

NONLINEAR ELASTIC BEHAVIOUR OF A PLATE CONTAINING
AN OPEN HOLE AND SUBJECTED TO SHEAR LOADINGNELINEÁRNÍ ELASTICKÉ CHOVÁNÍ DESKY S OTVOREM ZATÍŽENÉ
ČISTÝM SMYKOVÝM ZATÍŽENÍM

Valach, J., Minster, J.

The contribution deals with a comparison of the theoretical and experimental analysis of deformation response of the filled polymer composite plate, mechanical behaviour of which is idealised by means of elastic-plastic model with stiffening. The theoretical solution is based on FEM used for the plate shape and boundary conditions corresponding to the Iosipescu shear test. The displacement vector field (measured by time-base stereophotogrammetric method in circle hole surroundings at the plate subjected to shear load in its plane) is used for correlation to the theoretical results. The computer methods are used for comparison of the displacements and the strain fields.

1. Úvod

Existuje celá řada kompozitních materiálů, které pro své mechanické vlastnosti musí být navrhovány nikoli na pevnost, ale na přetvoření. Mezi ně patří i některé z plněných, částicových nebo vláknových kompozitů s nižšími hodnotami tuhosti, které se z hlediska zatížení uplatňují jako konstrukční prvky druhého řádu. V rámci širšího programu analýzy deformační odezvy smykově zatížených kompozitních desek s eliptickým otvorem [1] byly sledovány i materiály, jejichž krátkodobé chování lze idealizovat jako pružně-plastické (v tomto případě Taboren PC48K40-936). Experimentální data pro analýzu byla získávána nepřímou stereofotogrammetrickou metodou s časovou základnou a následným numerickým zpracováním. Numerické řešení může vedle úspory času a nákladů na provádění různě parametrizovaných experimentů [2] poskytnout i informace pro hodnocení deformačně založeného procesu porušení.

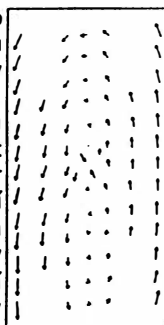
2. Experimentální výsledky

Z řady realizovaných měření byl pro srovnání vybrán třístupňový test charakterizovaný následujícími průměrnými hodnotami tenzoru deformace oblasti o relativních rozměrech $8R \times 16R$, kde R je poloměr kruhového otvoru uprostřed oblasti:

$$\varepsilon_{1,st}[\%] = \begin{bmatrix} -0.04 & 1.23 \\ . & 0.08 \end{bmatrix} \quad \varepsilon_{2,st}[\%] = \begin{bmatrix} 0.51 & 3.88 \\ . & 0.23 \end{bmatrix} \quad \varepsilon_{3,st}[\%] = \begin{bmatrix} 5.4 & 11.5 \\ . & 0.13 \end{bmatrix}$$

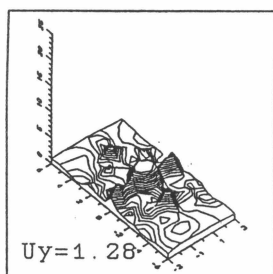
Hodnoty tenzorů deformací pro jednotlivé stupně byly na základě stereofotogrammetrického zpracování (blíže o tomto postupu viz např.: [3]) určeny pro dvě rozdílná zatížení a konečný stav makroporušení.

Pro jednoznačné stanovení konečných tenzorů deformace a rotace pomocí afinní transformace je třeba znát vektory posunutí tří bodů tělesa. V zájmu lokalizace určených hodnot přetvoření byly vybrány z vektorového pole (jež ilustruje např. obr. 1 zachycující 2. st. zatížení) vždy dvě dvojice vektorů orientované symetricky vzhledem ke středu otvoru. Tímto způsobem byla využita středová souměrnost deformačního pole a zároveň vždy s přeurčením o jeden vektor posunutí poněkud "rozmazán" dispersní vliv metody vyhodnocování stereosnímků. Směrodatné odchylky paralax na pevných bodech v pořadí souřadnic x, y nepřekračovaly v měřítku snímků hodnoty 0.002 a 0.005, relativní rozdíly paralax na pevných bodech v okolí otvoru byly v odpovídajícím pořadí 20 a 70 krát větší. Lze tedy odhadnout, že deformační pole byla stanovena s dostatečnou přesností. Prostředkem pro toto počítačové zpracování byl vlastní program [3] a software pro symbolické operace Maple V.

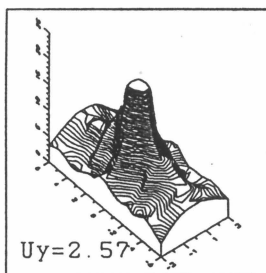


Obr. 1 Pole vekt. relativních posunutí

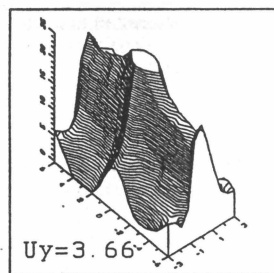
Série obrázků 2a, 2b, a 2c ukazuje rozvoj celkové smykové deformace v oblasti diskontinuity na základě měřených dat. Názorně dokládá přechod od kvazi-pružného stavu v "homogenním" smykovém poli (2a) ke kolapsu materiálu po rozvoji plastické deformace v místech tělesa oslabeného vruby, kde bylo dosaženo meze nosnosti materiálu (2c).



Obr. 2a



Obr. 2b

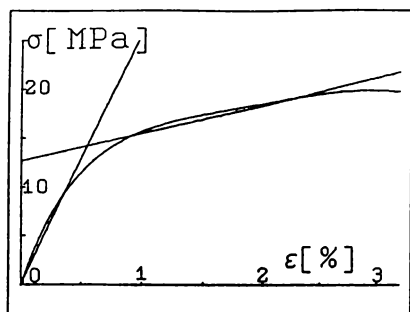


Obr. 2c

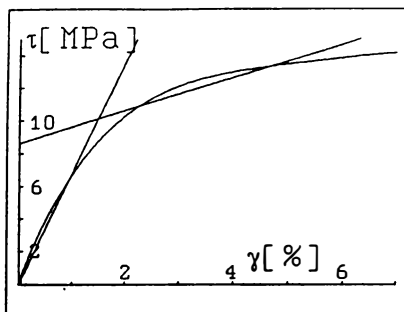
3. Numerické řešení

Pomocí MKP programu ANSYS byly na tělese rozděleném na čtyřúhelníkové izoparametrické 2D prvky (≈ 3000 uzlů a prvků) modelovány první dva stupně zatížení podle dat známých z experimentů. Protože bylo nezbytné respektovat nezávislý a nelineární průběh Youngova a smykového modulu (jak ilustrují obr. 3a a 3b), vynutila si vnitřní omezení MKP ANSYS užití modelu ortotropního materiálu s bilineární charakteristikou plastického chování. Tato náhrada byla provedena s ohledem na energetickou bilanci tak, aby deformační energie reálného vzorku odpovídala modelovému obrazu na úrovni průměrné deformace. (Jinými slovy, plocha omezená v pracovních diagramech spojitou křivkou a plocha omezená dvojicí přímkových úseků jsou shodné.)

Okrajové podmínky úlohy byly zadány v posunutích tak, že levá část vzorku byla fixována proti posuvům ve směru y a na horní pravý okraj bylo přiloženo posunutí v tomto směru o 1.28mm resp., 2.57mm v prvním resp., v druhém zatěžovacím stavu.



Obr. 3a Aproximace tahového diagramu



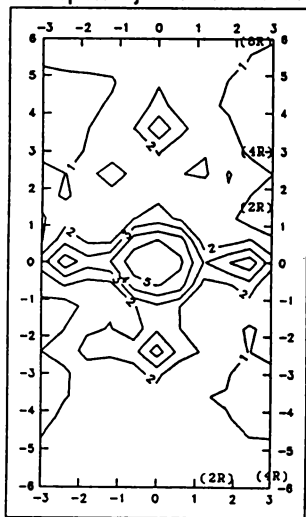
Obr. 3b Aproximace smykového diagramu

Modelování posunů se tímto lišilo od jeho praktického provedení, kde na zkušební etalon působí dvě rovnovážné dvojice sil, způsobující posunutí pravé části vůči levé. Tuto, z hlediska St. Venantova principu a z hlediska silových účinků ekvivalentní úpravu, si vyžádaly vlastnosti MKP.

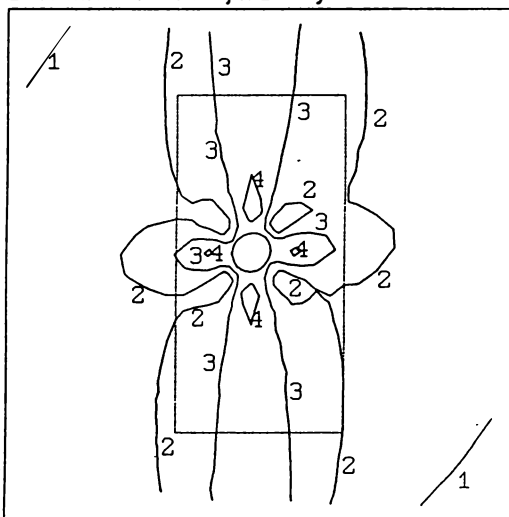
4. Srovnání experimentálních dat a numerických výsledků

Jak ukázaly předchozí studie [2] i měřená data, normální složky tenzoru deformace ϵ_x, ϵ_y jsou zanedbatelné ve srovnání s hodnotou smykové deformace (s výjimkou posledního zatěžovacího stupně, ve kterém nastal kolaps).

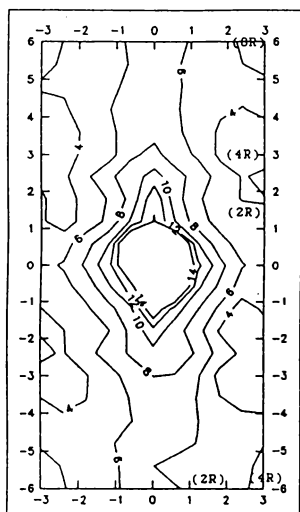
Ze srovnání výsledků získaných měření pro 1. resp., 2. stupeň zatížení (obr. 4a resp., 4b) s výsledky MKP (obr. 5a resp., 5b, kde čárkované ohraničené plocha koresponduje s měřenou oblastí) lze formulovat následující závěry:



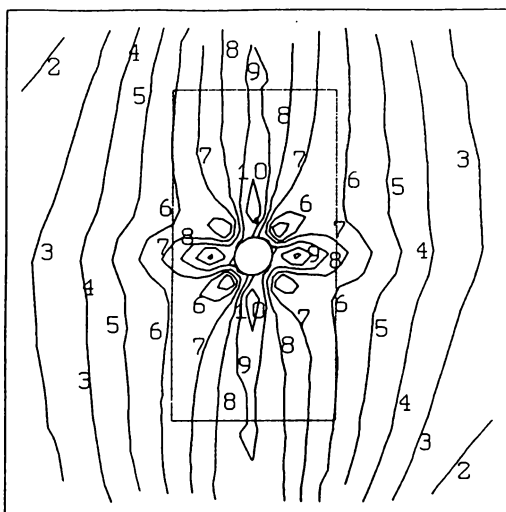
Obr. 4a Měřené hodnoty smykové deformace



Obr. 5a Vypočtené hodnoty smykových deformací pro $U_y=1.28$



Obr. 4b Měřené hodnoty smykových deformací



Obr. 5b Vypočtené hodnoty smykových deformací pro $U_y=2.57$

- výpočet a měření vykazují zřejmou kvalitativní a přibližnou kvantitativní shodu;
- dramatická změna směrnice v bilineární náhradě pracovního diagramu vede k tomu, že plastická deformace se rozvíjí v omezenější oblasti (než ukazuje experiment), ve které se realizuje větší část přetvoření, čímž zbývající část tělesa je odlehčena; na druhé straně rozptýlení plastické deformace do větší oblasti otupuje maxima v okolí diskontinuity, která je místem maximálního přetvoření pro svou povahu koncentrátoru napětí;
- kvalitativní shoda zaručuje možnost použití MKP pro studium porušovacích procesů kompozitů. V případě použití kritériální podmínky porušení v deformacích by vliv smykových přetvoření představoval pouze její část. Z tohoto hlediska lze rozdíly mezi experimentálními a teoretickými hodnotami smykové deformace vzhledem k limitním považovat za přijatelné.

Literatura

- [1] Minster, J., Fiala, Z., Bartoš, F., Růžek, M. in Sb. "Dynamika, pevnost a pružnost strojních konstrukcí", Svatka, 11.-17. 5., 1992, str. 212-215.
- [2] Valach, J., Minster, J. in Sb. "Vyztužené plasty", Karlovy Vary, 1993 (v tisku).
- [3] Berka, L., Růžek, M., Fiala, Z. in Sb. "Experimentální analýza napětí 91", Tatranská Lomnica, 13.-16. 5. 1991, str. 45-46.

Ing. J. Valach, Ing. J. Minster, CSc.
Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR
Vyšehradská 49, 128 49 Praha 2
Tel.: (02) 29 64 51
Fax.: (02) 29 59 03
E-mail: utam@cspgas11.bitnet