

FOTOELASTICIMETRICKÉ SNÍMAČE DEFORMACÍ

Ing. Václav Brož, CSc., Ing. Miloš Čenský, CSc.,
Katedra stavební mechaniky, Stavební fakulta ČVUT,
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Při provádění porovnávacích experimentů s cílem posoudit vliv pozorovatele na přesnost fotoelasticimetrických měření jsme zjistili, že rozlišovací schopnost pozorování při goniometrické kompenzaci činí u obvyklého materiálu (Epoxy, $E=3500\text{MPa}$, $K=14\text{N/mm}$) asi 0,03 řádu uvnitř modelu a asi 0,05 řádu na volném okraji, kde je pozorování obtížnější. Jednoduchým výpočtem zjistíme, že tyto hodnoty změny dvojlomu reprezentují při tloušťce materiálu 10mm v procházejícím světle nebo při tloušťce 5mm u dvojího průchodu světla změnu napětí 0,042MPa resp. 0,7MPa a tedy změnu relativní deformace $1,2 \cdot 10^{-5}$ resp. $2 \cdot 10^{-5}$, předpokládáme-li stav jednoosého napětí. Takto, ostatně ne příliš šťastně postavený problém je lákavým východiskem k navržení fotoelasticimetrického jevu jako základu ke snímání deformací reálných konstrukcí. Cesta k fungující metodě je však složitější, byla již několikrát v minulosti podniknuta a nikdy nedošla k uspokojivému závěru. Pokusili jsme se přesto vnést některé nové prvky do problému tak, aby se naše výsledky přiblížily výše uvedené teoretické hranici lépe, než to činily dosud navrhované a později opuštěné fotoelasticimetrické snímače /1/.

Známy fakt, že až na zvláštní případy nedovoluje fotoelasticimetrické měření zjistit přímo jednotlivá hlavní napětí v separované formě, vedl k hledání různých způsobů jejich separace. Jedním z nich je i Tessařova metoda, založená na navrtání modelu a následném měření obvodových napětí na vzniklém otvoru. Zjistí se tak přímo směry hlavních napětí (v kruhově polarizovaném světle) a z extrémů obvodových napětí σ_I a σ_{II} se vypočtou hodnoty hlavních napětí σ_1 a σ_2 před vyvrtáním otvorů pomocí vztahů:

$$\sigma_1 = 1/8 (3\sigma_I + \sigma_{II})$$

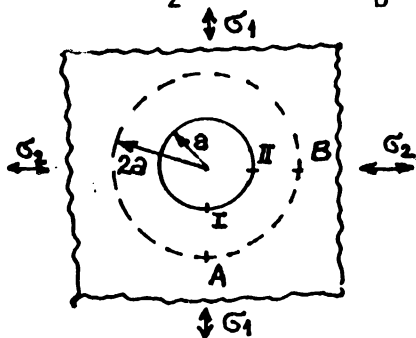
$$\sigma_2 = 1/8 (3\sigma_{II} + \sigma_I),$$

které jsou odvozeny z teorie nekonečně velké desky s kruhovým otvorem namáhané jednoosým tahem. Příznivou okolností je to, že otvor působí jako koncentrátor napětí a zvyšuje nominální hodnotu měřeného dvojlomu.

Protože jsme shledali rozlišovací schopnost při měření na okraji nižší než při měření uvnitř vzorků, využili jsme způsobu navrženého Djurellim a Rajaiahem /2/ a měřili dvojlom nejen po obvodu otvoru, ale i uvnitř oblasti a výsledky jsme opět přepočítali na hodnoty σ_1 a σ_2 před vyvrtáním otvoru podle téhož principu. Hlavní napětí se potom řídí vztahy:

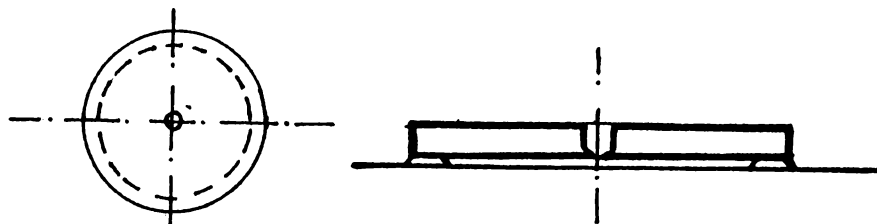
$$\sigma_1 = 1/11 (15\sigma_A + 7\sigma_B)$$

$$\sigma_2 = 1/11 (15\sigma_B + 7\sigma_A).$$



V praxi je vhodné kombinovat oba způsoby, měření na obvodu otvoru umožní lépe stanovit znaménka výsledných hlavních napětí, v bodech A a B lze citlivěji provést kompenzační měření. Dosud jsme používali takovou polohu bodů A, B, kdy jejich vzdálenost od okraje je rovna poloměru, ale nabízejí se i jiná řešení.

Výsledkem našich experimentů je snímač ve tvaru válce o $\varnothing$ 25-50 mm a tloušťce 3-5 mm, který se vyrobí příčným odřezáním z epoxidového válcového odlitku větší délky. Válcový terčík je na spodní straně opatřen reflexním nátěrem až na vnější mezikruží o šířce 3-4 mm sloužící k nalepení snímače na konstrukci; nalepení se provede před počátkem působení zatížení (nebo jiné příčiny deformace).



Měření proběhne ve dvou fázích. V první je změřena velikost dvojlomu uprostřed terčíku. Ve druhé fázi se uprostřed vyvrtá otvor o $\varnothing$ 3 mm (nemusí být proveden důsledně až do konce). Vzápětí se změří extrémní dvojlomu podél obvodu otvoru a ve vzdálenosti 6 mm od jeho středu (body A a B ve schematu). Polohy extrémních hodnot leží ve směrech hlavních napětí působících v uvažované bodě. Jejich hodnoty se vypočtou z výše uvedených vztahů. Je možné výsledky z měření na okraji otvoru a v bodech A a B zprůměrovat nebo jednostranně nadřadit měření uvnitř nad hodnoty z okraje, všechny získané hodnoty lze použít k regresní analýze problému. Velikost dvojlomu na přímce kolmé ke směru σ_1 procházející středem otvoru je dána rovnicí

$$\Delta = \sigma_1(1-a^2/r^2+3a^4/r^4) + \sigma_2(1-3a^2/r^2+3a^4/r^4)$$

a na přímce rovnoběžné se směrem

$$\Delta = \sigma_2(1-a^2/r^2+3a^4/r^4) + \sigma_1(1-3a^2/r^2+3a^4/r^4),$$

kde r je vzdálenost od středu otvoru a a je jeho poloměr.

Vyvrtání otvoru těsně před měřením zamezí ovlivnění výsledků okrajovým efektem, navíc znalost hodnoty σ_1 - σ_2 ve středu terčíku před navrtáním umožní zpřesnit vypočtená napětí σ_1 a σ_2 korekčním součinitelem $(\sigma_1' - \sigma_2')/(\sigma_1 - \sigma_2)$, kde v čitateli je rozdíl hlavních napětí změřený před navrtáním a ve jmenovateli rozdíl hlavních napětí vypočtený z hodnot změřených po navrtání. Správné hodnoty napětí jsou potom

$$\sigma_1 = \sigma_1' (\sigma_1' - \sigma_2') / (\sigma_1 - \sigma_2) \quad \sigma_2 = \sigma_2' (\sigma_1' - \sigma_2') / (\sigma_1 - \sigma_2).$$

Samozřejmě uvedená metoda má různé nevýhody, ale domníváme se, že by se mohla uplatnit při sledování dlouhodobých deformací. K tomu by však bylo třeba lépe poznat chování dvojlomného materiálu v čase, což je naším dalším úkolem.

- Literatura: /1/ Milbauer, Perla: Fotoelasticimetrické přístroje a měřící metody, ČSAV Praha, 1959
 /2/ Durelli, Rajaiah: Determination of Strains in Photoelastic Coatings, Ex. Mech. , 20 (2), 57-64 (1980)