

Milan D r ž í k

Ústav stavebníctva a architektúry SAV

885 46 Bratislava

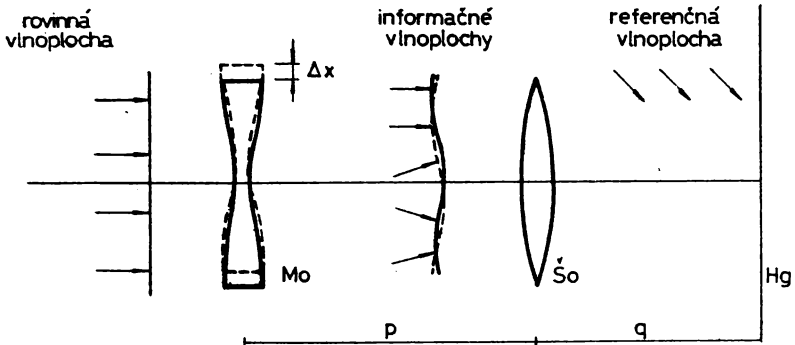
Holografický interferometer pre meranie pootočení rovinných povrchov

Meranie pootočení rovinných povrchov patrilo vždy medzi základné problémy v oblasti optických metód experimentálnej analýzy napätí. Tieto merania sú napríklad neoddeliteľnou súčasťou vyšetřovania ohýbaných dosák, kde sklony povrchu vzhľadom k súradnicovým osiam znamenajú derivácie priebehov. Pri modeloch zatažených rovinnou napätosťou možno principiálne rovnako získať priebehy derivácií súčtov hlavných napätí.

Už v klasickej interferometrii bol známy tzv. zdvihový interferometer, v ktorom sa využíval princíp interferencie dvoch vzájomne posunutých identických vlnoplôch po prechode zataženým modelom. Základným nedostatkom tohoto interferometra však bola nutnosť použitia náročných, veľmi kvalitných optických prvkov, presne planparalelných modelov a v nezmenšenej miere aj nutnosť dokonalej antivibračnej ochrany celého optického systému.

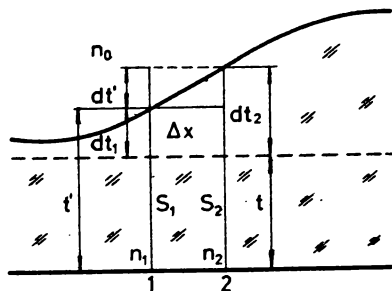
Väčšinu z týchto nedostatkov nemá navrhnutý interferometer, ktorý pracuje na základe princípu holografickej interferometrie. Využíva sa vlastností zobrazovacích hologramov - keď obraz objektu je premietnutý šošovkou do roviny holografického záznamu - a dvojexpozíčného postupu, pri ktorom obe expozície sa uskutočňujú so zataženým modelom a medzi expozíciami sa obraz objektu posunie. Pri rekonštrukcii takto získaného dvojexpozíčného hologramu vzniká interferenčný obrazec, ktorého čiary zobrazujú krivky rovnakých pootočení povrchov modelu v smere súradnicovej osi paralelnej s priamkou vektora posunutia oboch obrazov.

Principiálny náčrt optickej sústavy holografického



Obr.1

zdvihového interferometra je na obr.1. Transparentným rovinným modelom M_o , ktorý je deformovaný pôsobením zataženia, prechádza rovnobežný zväzok koherentných lúčov. Po prechode cez model sa táto vlnoplocha deformuje fázovými zmenami spôsobenými jednak nerovnakou hrúbkou modelu, ako aj rozložením počtu indexu lomu transparentného materiálu, ktoré je funkciou zatažovacieho napätia. Šošovka $\check{S}o$ premieta túto informačnú vlnoplochu do roviny hologramu Hg , kde sa interferenciou s referenčnou vlnoplochou vytvorí v záznamovom materiáli hologram. Pri prvej expozícii sa zaznamená vlnoplocha nesúca informáciu o deformovanom modeli v polohe 1. Pred druhou expozíciou sa model premiestni o malú vzdialenosť Δ_x do polohy 2 a za modelom sa vytvorí vlnoplocha identická s vlnoplochou pri prvej expozícii, ale posunutá vzhľadom k prvej o Δ_x . Jej záznamom pri druhej expozícii a po spracovaní hologramu vzniká pri rekonštrukcii dvojexpozičný interferogram. Interferenčný obrazec vyjadríme pomocou rozdielu optických dráh jednotlivých lúčov pri prvej a druhej expozícii. Na obr.2 je transparentný model, kde miesto 1 označuje vybraný lúč pri prvej expozícii a miesto 2 dráhu, ktorou sa bude tento lúč šíriť po posunutí modelu o Δ_x . Obe optické dráhy môžeme vyjadriť pomocou indexu lomu materiálu modálu v mieste 1 $/n_1/$, v mieste 2 $/n_2/$, indexu lomu okolitého prostredia n_o a geometrických dráh t' , t'' . Rozdiel optických



Obr.2

dráh dl potom bude

$$dl = n_2 / t' + dt' / - / n_1 t' + n_0 dt' / \quad /1/$$

Pri rekonštrukcii hologramu tieto dva lúče môžu interferovať a vytvoria obrazec interferenčných čiar, ktorého maximá vznikajú v miestach, kde rozdiel optických dráh sa rovná celistvému násobku vlnových dĺžok svetla $N\lambda$.

Pre uvažované prípady modelov zafarbených rovinou napätosťou môžeme rozdiel dt' vyjadriť použitím vzťahu z pružnosti popisujúceho zmenu hrúbky modelu dt v závislosti od materiálových konštánt ν , E a súčtu hlavných napätí

$$dt = - \frac{\nu t}{E} / \sigma_x + \sigma_y / \quad /2/$$

Potom

$$dt' = dt_2 - dt_1 = - \frac{\nu t}{E} [/ \sigma_x + \sigma_y / 2 - / \sigma_x + \sigma_y / 1] \quad /3/$$

Podľa Maxwell-Neumanovho zákona, ktorý tu uvažujeme pre opticky inertné materiály /napr. PMMA/, i rozdiel indexov lomu v miestach 1 a 2 je úmerný rozdielu súčtov hlavných napätí v oboch miestach

$$n_2 - n_1 = c_0 [/ \sigma_x + \sigma_y / 2 - / \sigma_x + \sigma_y / 1] \quad /4/$$

Dosadením /3/, /4/ do /1/ máme pre rozdiel optických dráh

$$N\lambda = c_0 \Delta S t' - \frac{\nu t}{E} / n_2 - n_0 / \Delta S \quad /5/$$

kde sme označili

$$\Delta S = / \sigma_x + \sigma_y / 2 - / \sigma_x + \sigma_y / 1 \quad /6/$$

V praxi môžeme položiť $t' = t$ a $n_0 = 1$, čo je približne

index lomu vzduchu. Rovnica /5/ sa zjednoduší

$$N\lambda = \Delta St \left[c_0 - \frac{\nu}{E} / n - 1 / \right] \quad /7/$$

Infinitezimálne platí

$$\frac{\partial S}{\partial x} = \frac{\Delta S}{\Delta x} \quad /8/$$

preto pomocou /7/ dostaneme vstah pre deriváciu funkcie súčtov hlavných napätí $S/x,y/$

$$\frac{\partial S}{\partial x} = \frac{\lambda}{\left[c_0 - \frac{\nu}{E} / n - 1 / \right] \Delta x} \cdot \frac{N}{t} = \frac{C}{\Delta x} \cdot \frac{N}{t} \quad /9/$$

Analogicky v smere osi y

$$\frac{\partial S}{\partial y} = \frac{C}{\Delta y} \cdot \frac{N}{t} \quad /10/$$

Konštantu interferenčnej citlivosti C meriame na modeloch so známym rozložením napätosti pomocou izopachických čiar.

V prípade priečne ohýbaných dosiek, ktorých horná plocha je zrkadlovo odrážajúca, môžeme dráhový rozdiel lúčov v mieste 1 a 2 vyjadriť prostredníctvom priehybu dosky w

$$d1 = 2w \quad /11/$$

Pre deriváciu priehybov, ktorá súčasne znamená pootočenia povrchu k súradnicovým osiam, potom dostaneme

$$\frac{\partial w}{\partial x} = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{N}{\Delta x} \quad \text{resp.} \quad \frac{\partial w}{\partial y} = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{N}{\Delta y} \quad /12/$$

Optickú zostavu zdvihového interferometra sme realizovali ako bežnú holografickú schému pre záznam zobrazovacích hologramov s tým rozdielom, že v informačnej vetve nebola vložená matnica. Transparentné modely na prechod, rovnako ako modely dosiek zrkadlovo odrážajúce, boli ožarované rovnobežným sväzkom. Základný rozdiel od záznamu izopách /resp. priehybov/ spočíval v posunutí informačnej vlnoplochy medzi expozíciami, pričom model bol pri oboch expozíciách v rovnakom zaťaženom stave. Pre posunutie celého modelu v zaťaženom stave sme používali prípravok jednoduchej konštrukcie vytvorený pomocou veľkej frézovanej platformy posúvanej pomocou tlačnej skrutki.

Praktické možnosti interferometra sme využili pre štúdium napätosti v okolí trhlín a derivácií priehybov dosky.