

SPECKLE INTERFEROMETRIA S VYUŽITÍM SENDVIČOVÉHO PRINCÍPU

Klasická metóda dvojexpozíčnej speckle interferometrie sa v experimentálnej praxi uviedla ako relatívne nenáročná a efektívna optická metóda. Jej prednosti sú však často ovplyvňované niektorými nepriaznivými faktormi. Ako prvá vystupuje do popredia skutočnosť, že pri dvojexpozíčnom snímaní na jednu fotonosnú platňu sa zaznamenávajú absolútne premiestnenia pozorovaného povrchu v priestore. Pri konkrétnych technických aplikáciách tieto premiestnenia často prevyšujú premiestnenia od vlastnej deformácie objektu, čo spôsobuje pri ich vyhodnotení značné nepresnosti merania. Dalším ohraničením klasickej speckle schémy je úzko vymedzený rozsah meraných veličín premiestnení a najmä obmedzená schopnosť záznamu najmenšieho premiestnenia. Táto je aj v najlepšom prípade takmer o rád nižšia ako v holografickej interferometrii pri meraní premiestnení kolmých na povrch. Pritom je treba brať do úvahy, že v klasickej speckle interferometrickej schéme je nutné na dosiahnutie vyššej citlivosti merania používať pre záznam obrazu objektívy s veľkými relatívnymi apertúrami. Väčšina objektívov však s takýmito apertúrami veľmi zle geometricky kreslí, preto môžu pri meraní vzniknúť značné chyby [1].

Použitím tzv. sendvičového princípu [2] možno úspešne riešiť uvedené okruhy problémov. Princíp tejto metódy je založený na jave interferencie svetla difragujúceho na dvoch identických speckle štruktúrach umiestnených za sebou. Každá z expozícií, ktoré zaznamenávajú objekt v dvoch stavoch deformácie, sa uskutočňuje na samostatnú fotonosnú platňu. Technická realizácia interferometrického vyhodnotenia informácie spočíva v tom, že sa exponované a spracované fotonosné platne naložia na seba emulziami obrátené v jednom smere. Pri presvetlení takejto kompozície zodpovedajúce si dvojice speckle škvŕn predstavujú dvojice za sebou umiestnených - vo vzdialenosti hrúbky fotonosnej platne - kvázibodových svetelných zdrojov. Výsledkom difrakcie na takejto speckle štruktúre je kruhové difrakčné haló modulované systémom interferenčných čiar v podobe sústredných kružníc (Obr.1). Obr.2 ukazuje schému interferencie na dvoch za sebou umiestnených bodových zdrojoch. Rozdelenie intenzity získame vyjadrením rozdielu optických dráh dvoch interferujúcich lúčov 1 a 2

$$\Delta = n(d_1 - d_2), \quad (1)$$

za predpokladu, že

$$d_1' = n d_2',$$

kde n je index lomu skla fotonosnej platne, vzdialenosti dráh sú na Obr.2. Vzdialenosť d_2 vyjadríme s využitím zákona lomu pre lúč 2

$$d_2 = \frac{r_2 \sin i}{n} + \frac{t}{n} \operatorname{tg} i \left(\frac{n}{\sin i} - \frac{\sin i}{n} \right) \quad (2)$$

pričom

$$d_1 = \sqrt{r_x^2 + t^2} \quad (3)$$

V týchto vzťahoch r_x je premiestnenie druhého bodu od optickej osi, t je hrúbka fotoplatne a i uhol, pod ktorým vidíme uvažovaný bod interferenčného obrazca. Keďže vzdialenosť tienidla je veľká voči pre oba lúče uvažujeme rovnaký malý uhol i ($\cos i = 1$, $r_x \ll t$). Intenzita svetla v bode na tienidle, ktorá je daná interferenciou lúčov 1 a 2 sa vyjadří klasickým vzťahom Fresnela. Za predpokladu, že amplitúdy oboch lúčov sú rovnaké, pre interferenčný obrazec platí

$$I = I_0 \cos^2 \frac{2\pi}{\lambda} \left(\frac{t}{m} \sin^2 i - r_x \sin i \right), \quad (4)$$

kde I_0 je konštanta a λ je vlnová dĺžka použitého svetla. Odtiaľto plynie vzťah pre interferenčné maximá resp. minimá, z ktorého vyjadríme hľadanú veličinu vzájomného bočného posunutia bodových zdrojov

$$r_x = \frac{t}{m} \sin i - \frac{N\lambda}{\sin i}, \quad (5)$$

kde N je interferenčný rád príslušnej čiary v danom bode tienidla.

Vzťah (5) využijeme na vyhodnotenie hľadaných hodnôt premiestnení r_x .

Za účelom zvýšenia presnosti merania je potrebné pre uvažovaný bod na objekte zobrať viacero bodov interferenčného obrazca pre rôzne hodnoty N a uhlov i . Statistickým spríemerovaním hodnôt r_x získaných takýmto spôsobom zo vzťahu (5) dostaneme dostatočne presnú hodnotu r_x . Nevýhodou tohoto postupu je jeho prácnosť - aj pri použití počítača je nutné odčítať z interferenčného obrazca veľké množstvo dát. Preto zjednodušeným postupom na vyhodnotenie premiestnení je meranie posunu bodu stredov sústredných kružníc. Polohu tohoto stredu dostaneme ako

$$r_x = \frac{t}{m} \sin i, \quad (6)$$

keď sme vo výraze (5) položili $N=0$. Výhodné je vztiahnuť tento posun na referenčnú polohu stredu určenú pri meraní bodu na objekte, pri ktorom predpokladáme nulové hodnoty vektora premiestnenia. Technicky sme takéto meranie uskutočnili pomocou tienidla s veľkým kruhovým otvorom vyplneným matnicou z milimetrového papiera. Posun stredov kruhov interferenčného obrazca sa určoval na mm papieri voči zámernému krížu, ktorý sa nastavil na polohu obrazca pre bod objektu s nulovými zložkami premiestnenia. Presnosť takehoto určenia polohy stredu sústredných kružníc je pomerne vysoká, vďaka nepriesvitnému rozhraniu kruhu v tienidle. Chybu určenia polohy stredu sme odhadli na cca ± 1 mm, čo pri zvolenej vzdialenosti tienidla od specklegramu (1500 mm), hrúbke fotoplatne (1,5 mm) a použitom zmenšení obrazu objektu (3 násobnom) dáva chybu hodnoty premiestnenia na objekte $\pm 3 \mu\text{m}$.

Je evidentné, že opísaným postupom nie je obmedzená

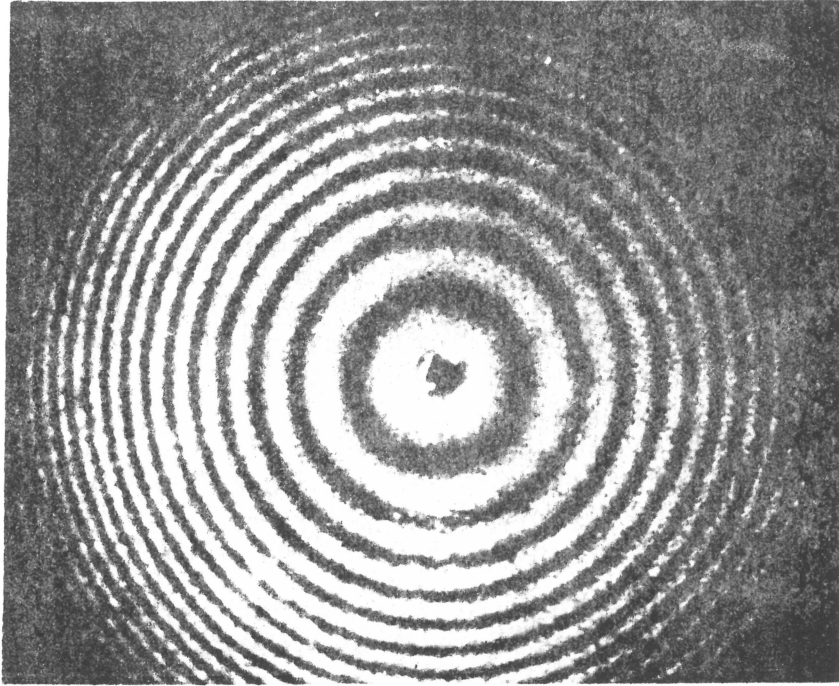
dolná hranica pre meranie hodnoty premiestnenia, môžu byť merané aj veľičiny premiestnenia menšie, ako je štatistický priemer rozmerov laserových škvŕn. To v klasickej schéme s vyhodnotením pomocou Youngových čiar nie je možné. Citlivosť merania v schéme s použitím sendvičového princípu je daná iba možnou chybou pri určení geometrickej polohy obrazca interferenčných čiar.

Rovnako dôležitou je skutočnosť, že v prípade sendvičovej metódy nerozhoduje veľkosť relatívneho apertúrneho otvoru objektívu. Preto zobrazovací objektív možno zacloniť a vytvorený obraz je podstatne presnejší. V našom prípade aplikácie metódy sme použili kameru pre záznam na fotoplatne s reprodukčným objektívom $f=180$ mm a clonou 1:5,6.

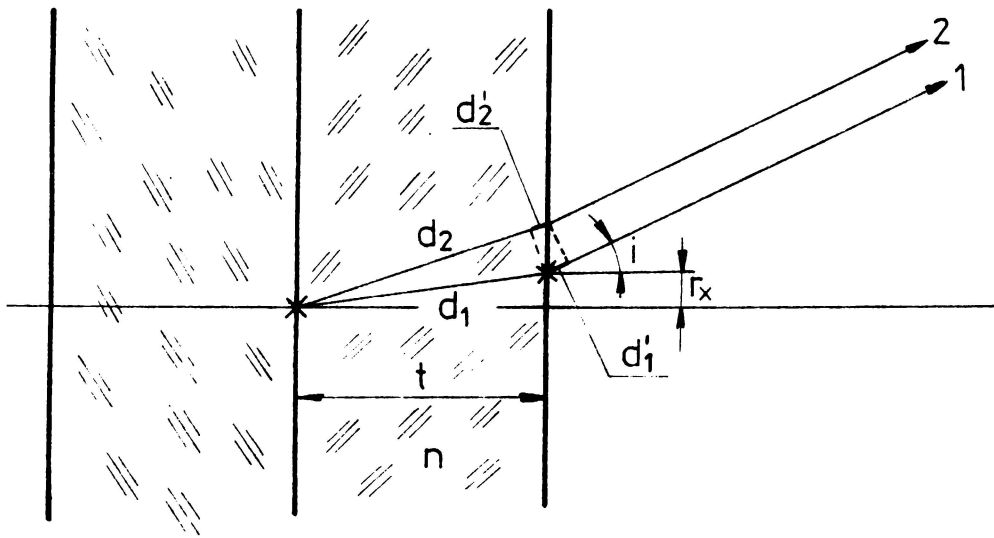
Na záver môžeme teda konštatovať, že speckle interferenčná metóda s podobným vyhodnotením informácie predstavuje modernú experimentálnu techniku, ktorej použitie - na rozdiel od väčšiny dnešných interferenčných techník - je atraktívne najmä pri technických aplikáciách mimo "sterilných" laboratorných podmienok.

Zoznam literatúry: (1) RAKUŠIN J. A.: Prostranstvenno-lokalnyje varijacii točnosti v spekl-fotografii, Optika i spektr., 62(6), 1987, (2) BERANEK W.J., BRUINSMA A.A.: Sandwich Speckle Interferometry, VDI-Berichte Nr.313, 1978

Milan Držík, CSc - Ústav stavebníctva a architektúry SAV,
842 20 Bratislava, Dúbravská cesta 9



br.



br.