



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

## DEFORMATION MEASUREMENTS BY MOIRÉ INTERFEROMETRY

### MĚŘENÍ DEFORMACÍ METODOU MOIRÉ INTERFEROMETRIE

VÁCLAVÍK J., TŘÍSKOVÁ M.

Moiré interferometry is an optical method for measuring in-plane strain fields. A brief theory is given and an easy method for deriving useful data from interferogram is described. An example of evaluated strain component in the hole neighbourhood during bending load is shown and the design of the used interferometer is described.

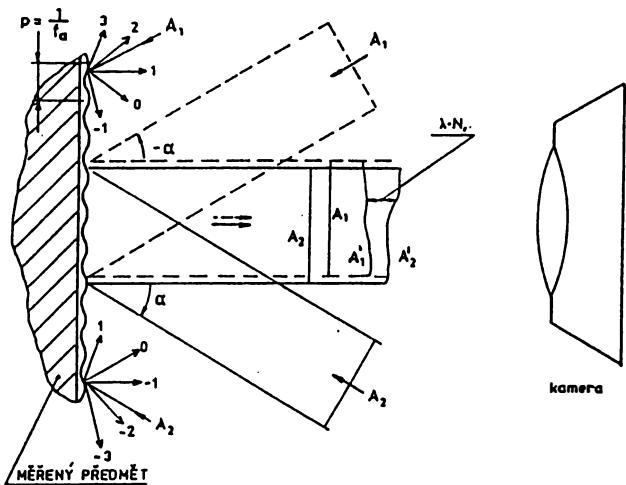
#### 1. Úvod

Moiré interferometrie je citlivá optická metoda pro určování pole přemístění a deformací v rovině předmětu. Její teoretické základy vypracoval v roce 1957 Guild, ale technické aplikace byly uskutečněny až v průběhu minulých 15 let a jsou spojeny se jmény Post [1], Mc Kelvie [2] a Pirroda [3].

Předmětem příspěvku je popsání základů teorie metody a praktických zkušeností, které byly získány při aplikaci metody.

#### 2. Teorie

Princip metody moiré difrakční interferometrie spočívá v měření deformace repliky reflexní vysokofrekvenční mřížky, nanesené na povrch měřeného předmětu, jež se na rozdíl od geometrického moiré uskutečňuje interferometrickou technikou (obr.1).



Obr. 1.

Nechť na takovou mřížku dopadají v rovině kolmě na mřížkové linie symetricky k normále plochy dvě rovinné světelné vlny pod úhlem  $\alpha$ , odpovídajícím normálové difrakci

$$\alpha = \arcsin(\lambda \cdot f_a) \quad (1)$$

$\lambda$  ..... vlnová délka,  $f_a$  ..... prostorová frekvence mřížky, které vytvářejí stacionární virtuální mřížku o frekvenci  $2 f_a$  a po difrakci na mřížce dvě identické rovinné vlny. Deformací mřížky vyvolané deformací předmětu však dojde ke zvlnění vlnoploch a ke vzniku interferenčního obrazce o intenzitě

$$I = 2 a^2 \{ 1 + \cos [2\pi/\lambda (\gamma + \delta(x,y))] \} \quad (2)$$

$\gamma$  = konst. pro ideální mřížky a rovinné vlnoplochy

$$\delta(x,y) = 2 \lambda \cdot f_a \cdot u(x,y) \quad (3)$$

Pro složku přemístění  $u(x,y)$  ( $v(x,y)$ ) v rovině předmětu ve směru kolmém na mřížkové linie v závislosti na rádu izotet  $N_x$  ( $N_y$ ) po zanedbání 1. fázového člena platí

$$u(x,y) = N_x / 2 f_a; \quad v(x,y) = N_y / 2 f_a \quad (4)$$

Za dvou (tří) takto získaných interferogramů je možno odhadnout složky tenzoru deformačního dle známých vztahů derivací interferenčního obrazce. To se provádí numerickou nebo optickou cestou nebo užitím FFT.

Nejjednodušší metodou numerické analýzy je diferenční metoda, vycházející z odměření vzdáleností izotet v řezech kolmých na mřížku  $\Delta x, \Delta y$ . Potom pro odhady  $\epsilon_x, \epsilon_y, \gamma_{xx}$

bude platit

$$\varepsilon_x = m \cdot p/2 \cdot \Delta x, \quad \varepsilon_y = m \cdot p/2 \cdot \Delta y,$$

$$\gamma_{x,y} = \varepsilon_x + \varepsilon_y - m \cdot p/(T^2 \cdot \Delta 45^\circ)$$

m ..... mřítko zobrazení,  $\Delta 45^\circ$  ..... vzdálenost izotet ve směru polovicí osy x,y.

Při tomto postupu je chyba mření cca 5 %, limit citlivosti na přemístění  $\lambda/2$  a citlivost mřené deformace  $C \cdot \lambda/2$ , kde C je požadované prostorové rozlišení. Pomocí techniky multiplikace interferenčních proužků je možno dosáhnout citlivosti až o řád vyšší.

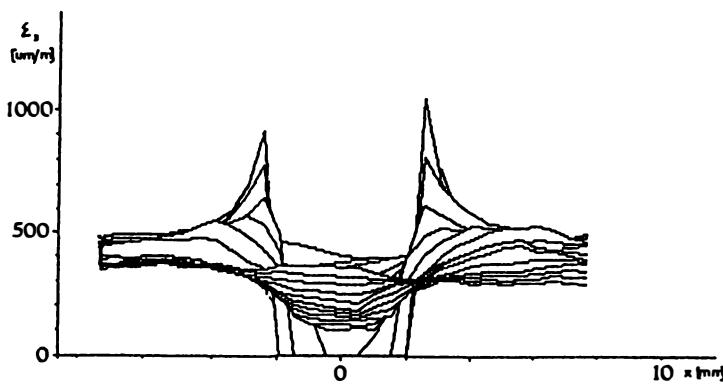
### 3. Experiment

Experimentální práce na ověření metody byly prováděny ve spolupráci s ÚRE ČAV, kde mají dlouholeté zkušenosti s tvorbou hologramových mřížek. Použity byly blejzované transmisi znížené mřížky, exponované Ar-iontovým laserem ( $\lambda = 457,9$  nm) do fotorezistu a kontaktní kopie těchto mřížek na fotografický materiál AGFA 8 E56 NAH; f = 1200 čar/mm.

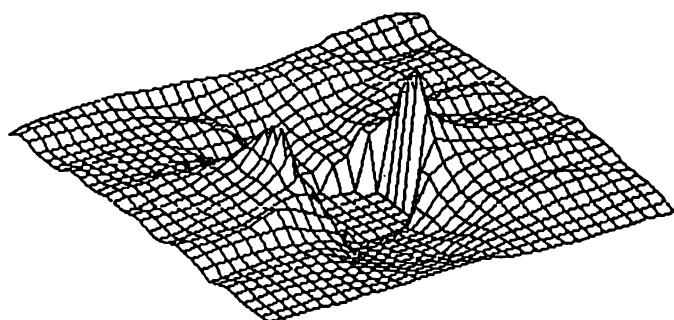
Po vakuovém pokovení mřížky hliníkem byla provedena replika mřížky do pryskyřice EPOXY ChS 110 (tvrdidlo P 11).

Po detekci interferenčního obrazce byl sestaven moiré interferometr pro rekonstrukci v bílém světle [4]. Jeho základem je jednorozměrná kompenzační hologramová mřížka o shodné frekvenci jako aktivní mřížka a dvě zrcadla, která odrazem -1 a +1 difrakčních řádů rekonstrukční vlny vytváří rekonstrukční virtuální mřížku. Natočení ramene interferometru umožnuje mření ve dvou na sebe kolmých směrech.

Jako příklad použití metody je prezentováno mření rozložení napětí kolem kruhového otvoru ø 4 mm na ploché tyče o průměru 40 x 5 mm a rozměrech repliky mřížky 40 x 40 mm. Na obr. 2 je vyhodnocený průběh poměrné deformace, který je ve shodě s teoretickou závislostí (a) podlíný řez, b) 3D-plot).



Obr. 2a.



Obr. 2b.

#### 4. Závěr

Moiré interferometrie patří v současné době v zahraničí k jedné z nejužívanějších metod optické analýzy například už v oblasti studia kompozitů, lomové mechaniky, svarových spojů a v řadě dalších úloh. Uváděný příspěvek si klade za cíl ukázat na tuto metodu a podnitit její rozšíření i u nás.

#### Literatura

- [1] Post,D.: "Moiré interferometry", in *Handbook on Experimental Mechanics*, ed. A. Kobayashi, Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, 1987, chapter 7.
- [2] McKelvie,J., Walker,C.A.: "A practical multiplied fringe technique", *Experimental Mechanics* 18 (1978), 316-320.
- [3] Piroddi,L.: "Strain analysis by grating interferometry", *Optics and Lasers in Engineering* 5 (1984), 7-28.
- [4] Czarnek,J.: "High sensitivity moiré interferometry with compact achromatic interferometer", *Optics and Lasers in Engineering* 13 (1990), 99-115.
- [5] Václavík,J., Mužík,V.: "Měření deformací metodou moiré interferometrie", Výzkumná zpráva ŠKODA Plzeň, 1991.

Jaroslav Václavík/Ing.  
ŠKODA, VÝZKUM, Plzeň, s.r.o., Tylova 57, 316 00 Plzeň  
TEL: 019-5044861 / FAX: 019 - 533358  
Marie Tríšková/Ing.  
ČAV, ÚRE, Chaberská 57, 182 51 Praha  
TEL: 02-84 3741/FAX: 02-840609