



30th Conference of Experimental Stress Analysis
30. konference o experimentální analýze napětí
2. - 5. 6. 1992 ČVUT Praha Czechoslovakia

THE CONTACTLESS WAY OF STRAIN MEASUREMENT ON THE BASIS OF DIFFRACTION LASER-RAY

BEZKONTAKTNÉ MERANIE DEFORMÁCIE POMOCOU DIFRAKCIE LASEROVHO LÚČA

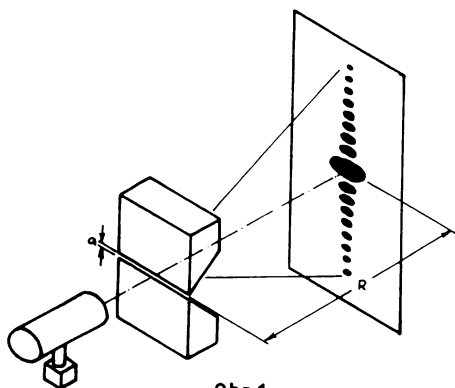
Eggenberger G.

In the paper is introduced the contactless way of deformation of the holes outlines on the holes outlines on the basis of change of the diffraction figure. This principle makes use of the transformation properties of the spherical and cylindrical lenses and the course of the diffraction field intensity is recorded by means of the vibratory laserray with an oscilloscope.

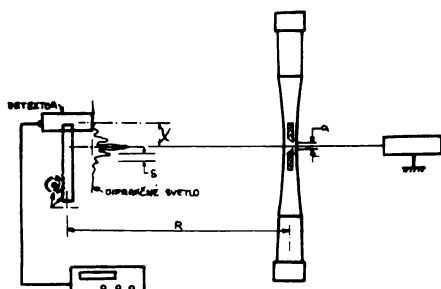
Keywords: strain, laser-ray, diffraction, lenses, Fourier transformation

V poslednom období v odbornej technickej literatúre sa objavujú články, ktoré v podstate vylepšujú pôvodnú myšlienku difraktooskopického merania deformácií.

Difraktografická metóda merania deformácií bola najprv uverejnená v roku 1971 autormi T.R. Pryor, O.L. Hageniers, W.P.T. Northom. Táto bezkontaktná metóda, hoci je mimoriadne jednoduchá a presnosť je porovnateľná s presnosťou elektrických odporových snímačov, sa nerozšírila. Ťažkosť boli okolo automatickej registrácie údajov a s časovo náročným hodnotením. Je pomerne veľká vzdialenosť difrakčnej roviny a pritom vzniká nestabilita difrakčného obrazca vplyvom prúdenia a zmeny teploty okolitého vzduchu. Nepraktické je tiež meranie v obmedzenom priestore. (obr.1)



Obr.1



Obr. 2

Autori H. Pih
a K. Čliu v odbornej li-
teratúre Experimental
Mechanics v marci 1991
vylepšujú horeuvedenú
difrakčnú metódu, a to
optomechanickým systémom
registrácie difrakcie.
(pozri obr.2)

V podstate uvedené
metódy sú založené na
princípe vytvárania úz-
kej štrbiny, ktorá po de-
formácii sa mení a dochá-
dza k zmene vrcholov di-
frakčných pruhov.

Metódu, ktorá je po-
užiteľná pri výskume si-
lového alebo tepelného
namáhania malých otvorov
rôzneho tvaru, štrbín,
perforovaných dosák, ten-
kých drôtov atď. som na-
vrhol v roku 1970 na
Oaklandskej univerzite
v USA. U nás o tomto
princípe som pojednal
pred 15 rokmi v Strojn-
níckom časopise.

Základ metódy je vo
využití šošoviek ako
transformačného prvku.
Využíva sa pri tom Fou-
rierova transformácia
tzv. otvorovej funkcie
 $f(x,y)$, ktorá je úmerná
amplitúde difrakčného
poľa. Pomocou šošoviek
sa skracuje vzdialenosť

difrakčného obrazca.

Fourierovou transformáciou v optike je možné popísať
Fraunhoferovu difrakciu svetla. Pri paralelnom osvetlení lúbo-
volného otvoru komplexná amplitúda difrakčného poľa v bode
 $P(x_0, y_0, z_0)$ podľa Fraunhofera je

$$U(x_0, y_0, z_0) = \frac{1}{j\lambda r_0} \exp(jkr_0) \iint_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \exp[-jk(\alpha_0 x + \beta_0 y)] dx dy$$

kde $k = \frac{2\pi}{\lambda}$; λ je vlnová dĺžka použitého svetla

a keď rozmery otvoru sú x_0 a y_0 oproti vlnovej dĺžke

$$z_0 = r_0 \quad \alpha_0 = \frac{x_0}{z_0} \quad \beta_0 = \frac{y_0}{z_0} \quad , \text{ intenzita difrak-}$$

čného poľa

$$I = U \cdot U^* = |U(x_0, y_0, z_0)|^2$$

kde U^* je konjugovaná hodnota U .

Pre Fourierovu transformáciu otvorovej funkcie $f(x,y)$ platí:

$$F/f(x,y) = F(u,v) = \iint_{-\infty}^{\infty} f(x,y) \exp[-j(ux + vy)] dx dy$$

kde $u = k\alpha_0$, $v = k\beta_0$

Fraunhoferovu difrakciu môžeme vyjadriť Fourierovou transformáciou otvorovej funkcie:

$$U(x_0, y_0, z_0) = \frac{1}{jkr_0} \exp(jkr_0) F(u,v)$$

Takto amplitúda difrakčného poľa bude úmerná Fourierovej transformácii otvorovej funkcie.

Šošovka funguje ako transformačný prvok. Má jednotkovú amplitúdovú priepustnosť, ale transformuje fázu použitej svetelnej vlny. Rovinná vlna sa transformuje na sférickú. Pôsobenie šošovky na rovinnú vlnoplochu bude

$$f'(x,y) = f(x,y) \exp(jkne_0) \cdot \exp\left[-\frac{jk}{2f} (x^2 + y^2)\right]$$

kde $\frac{1}{f} = (n-1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$

f ohnisková vzdialenosť

n index lomu šošovky

e_0 maximálna hrúbka šošovky

R_1, R_2 polomery krivosti šošovky

Člen $\exp(jkne_0)$ spôsobuje iba posun fázy, preto ho možno zanedbať.

Keď predmet je vo vzdialenosti d_z od zadnej ohniskovej roviny, amplitúda difrakčného poľa bude

$$U(x_f, y_f) = \frac{\exp(jkf)}{j\lambda d_z} \exp\left[j\frac{k}{2d_z} (x_f^2 + y_f^2)\right] \cdot \frac{f}{d_z} F(u,v)$$

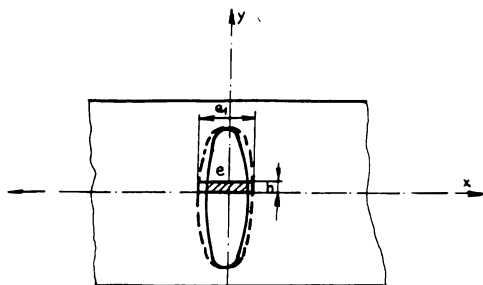
Pomocou takéhoto usporiadania môžeme ľahko určiť meritko obrazca Fourierovej transformácie.

Valcové šošovky majú tú vlastnosť, že pôsobia iba v jednom smere. Rovnobežný zväzok zostáva naďalej rovnobežný, ale roviny, v ktorých sú zväzky lúčov lámu sa po prechode šošovkou a pretínajú sa v priamke. Ohnisko v tomto prípade nie je bodom ale priamkou. Úspešne sa využíva táto vlastnosť pri difrakcii pozdĺž hraničných priamok vlákien atď.

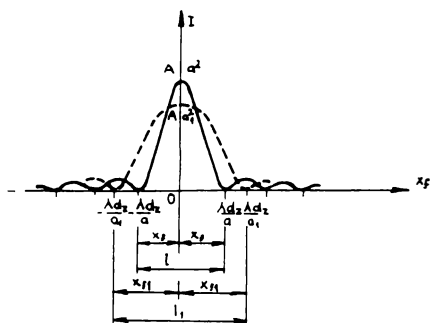
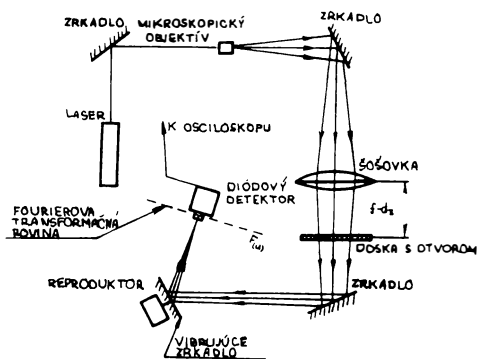
Rozbor deformácie je možno určiť jednoducho, keď pôvodná šírka otvoru vo vyšetrovanom mieste je a (pozri obr.3), potom úsek môžeme chápať ako štrbinu o výške h . So zaťažením sa mení šírka otvoru a posunú sa miesta nulových intenzít difrakčného poľa z x_f na x_{f1} (pozri obr.4). Takto deformáciu môžeme vyjadriť ako

$$\Delta a = (a_1 - a) = 2 \cdot n \left(\frac{1}{l_1} - \frac{1}{l} \right)$$

kde $l = 2x_f$ $l_1 = 2x_{f1}$



Obr.3

**Obr.4****Обр. 5**

pozdíj ohniskovej priamky. Rotáciou signálu rotuje aj difrakčný obraz; potom pootočením signálu môžeme zachytiť difrakciu v závislosti od uhla pootočenia. Oscilografický záznam umožňuje registrovať priebehy intenzít podľa požadovanej presnosti. Pri odčitanií rádu nulovej intenzity už pri $n=6a \pm 8$ sa dosahuje presnosť odporových snímačov.

Táto metóda má svoje miesto medzi spôsobmi určovania deformácie bod za bodom a medzi metódami na určenie celého deformačného poľa. Určuje sa deformácia obrysových čiar,

Gejza Eggenberger Prof.Ing.DrSc. - TU Košice

Na obr.5 je naznačené experimentálne zariadenie optickej sústavy. Oproti predošlým princípom možno touto metódou určiť deformáciu celých obrysových čiार pomocou transformačných vlastností sférických alebo cylindrických šošoviek, uskutočňujúcich Fourierovu transformáciu v ohniskovej rovine. Vzdialenosť difrakčnej roviny sa skráti a priebeh intenzity difrakčného poľa sa zaznamenáva osciposkopom. Celé zariadenie možno zostaviť na pomerne malom priestore. Keď vyšetrovaná vzorka sa vloží do roviny na vzdialenosť d_z pred zadnú ohniskovú rovinu, potom Fourierov obraz signálu sa vytvorí v zadnej ohniskovej rovine. Zrkadlo pripojené na zdroj kmitov, napr. na reproduktor rádiového prijímača má za účel pretransformovať svetelný signál pomocou diódového detektora na prúdový, ktorý je vyvedený do osciloskopu.

Keď vyšetrujeme malé otvory, môžeme difrakčný obraz zachytiť staticky na fotografickú dosku vloženú do zadnej ohniskovej roviny šošovky. Ak miesto sférickej šošovky použijeme valcovú šošovku, ktorá pôsobí iba v jednom smere, potom môžeme zmenu difrakčných čiar zachytiť