Fotoelasticimetrie

- V klasické optice jsou interferenční a difrakční jevy popisovány prostřednictvím ideálně koherentních, ideálně nekoherentních, později také částečně koherentních světelných svazků

- Ideálně koherentním světelným svazkem se rozumí elektromagnetické vlnění o stejné frekvenci, stejném směru kmitání a stejné fázi.

- Klasické optické metody, nevyžadující nutně zdroje světla s dobrou koherencí, je možné rozdělit do následujících metod/skupin:

Optické interferometry

Stereometrické a stereofotogrammetické metody

Moiré metody

Fotoelasticimetrie

Metody koherenční zrnitosti

Optické metody založené na změně hustoty média

Fotoelasticimetrie

- Fotoelasticimetrie je založena na dvou optických jevech – polarizaci světla a relativním (dočasném) dvojlomu.
- Fotoelasticimetrii je možné rozdělit na dva typy – transmisní a reflexní.

Polarizace světla

- Světlo je elektromagnetické vlnění o vlnové délce 390-770 nm. Při šíření světelného paprsku dochází k jeho kmitání v rovinách kolmých na směr šíření.
- V případě, že kmitání usměrníme pouze do jedné roviny, hovoříme o světle přímkově polarizovaném.
- K polarizaci světla může dojít lomem, dvojlomem (např. průchod světla polarizátorem) či odrazem.
- V případě, že složíme dva k sobě kolmé přímkově polarizované paprsky, které mají shodné amplitudy a jsou vůči sobě fázově posunuty, vzniká **světlo kruhově polarizované**.

Fotoelasticimetrie

Dočasný dvojlom

Existují materiály, které jsou v nezatíženém stavu opticky izotropní – světlo se v nich šíří ve všech směrech stejnou rychlostí.

- V důsledku zatížení se však materiál bude chovat jako opticky anizotropní, kdy se světlo bude šířit v různých směrech různou rychlostí.
- Materiály s touto vlastností nazýváme opticky citlivými materiály, příkladem může být islandský vápenec.
- V optice se setkáváme s pojmem absolutní index lomu prostředí, který je definován jako poměr rychlosti světla ve vakuu *c* a rychlostí světla v daném prostředí v_i:

$$n_i = \frac{c}{v_i}$$

- Při průchodu světelného paprsku opticky citlivým materiálem o tloušťce *t* je možné vyjádřit absolutní dráhový posun paprsku jako rozdíl mezi drahou, kterou by paprsek urazil za shodný čas τ ve vakuu a v daném prostředí o tloušťce *t*:

$$\Delta_1 = c \cdot \tau - t = c \cdot \frac{t}{v_1} - t = t \cdot (n_1 - 1)$$

Fotoelasticimetrie

- Pro druhý paprsek je možné napsat shodný výraz:

$$\Delta_2 = c \cdot \tau - t = c \cdot \frac{t}{v_2} - t = t \cdot (n_2 - 1)$$

- Relativní dráhový posun dvou paprsků je poté dán následovně:

$$\Delta = \Delta_1 - \Delta_2 = t \cdot (n_1 - n_2)$$

- Ve fotoelasticimetrii využíváme tzv. Werthaimův zákon, který jednak udává relaci mezi rovinami kmitů světelných vektorů a směrů hlavních napětí a dále relaci mezi dráhovým rozdílem dvou světelných paprsků v daném bodě a rozdílem hlavních napětí v tomto době, platí:

$$\Delta = t \cdot (n_1 - n_2) = C \cdot t \cdot (\sigma_1 - \sigma_2)$$

- konstanta *C* se nazývá fotoelasticimetrická konstanta a udává závislost mezi optickými a mechanickými jednotkami. Vyjádříme-li dráhový posun jako násobek vlnové délky, platí:

$$\Delta = m \cdot \lambda = C \cdot t \cdot (\sigma_1 - \sigma_2)$$

Fotoelasticimetrie

- pro rozdíl hlavních napětí pak platí:

$$(\sigma_1 - \sigma_2) = \frac{1}{t} \cdot \frac{\lambda}{C} \cdot m = \frac{k}{t} \cdot m$$

- Kde *k* je konstanta optické citlivosti materiálu, definovaná jako:

$$k = \frac{\lambda}{C}$$

Fotoelasticimetrie

Rovinná transmisní fotoelasticimetrie

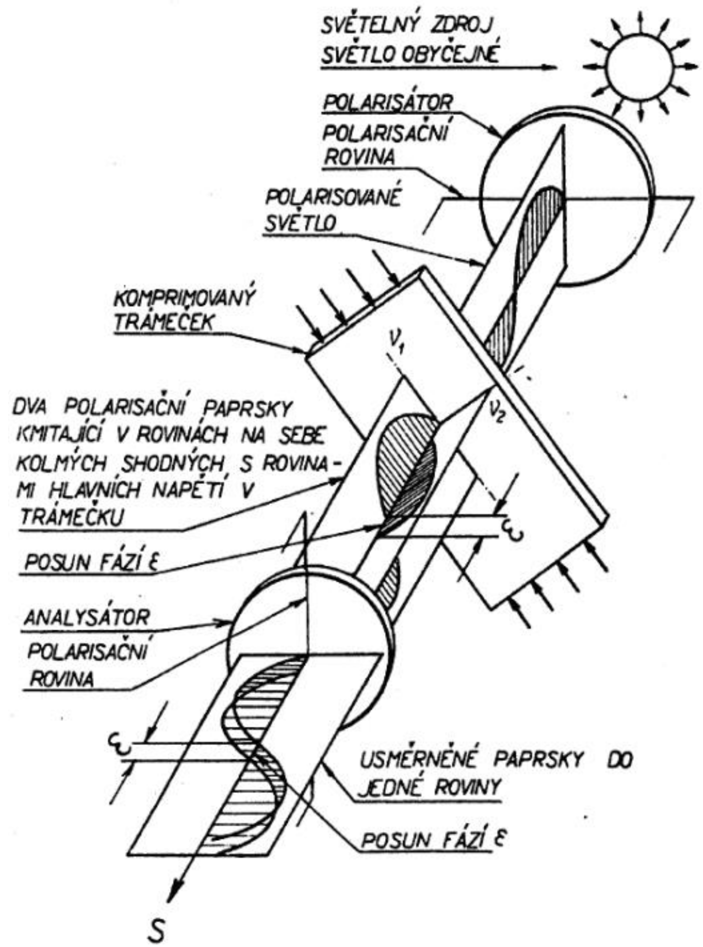
- Rovinná transmisní fotoelasticimetrie nám umožňuje analyzovat rovinnou i jednoosou napjatost na rovinných tělesech v průchozím světle.

- K uvedeným účelům využíváme polariskopy s přímkově popř. kruhově polarizovaným světlem.

Polariskop s přímkově polarizovaným světlem

- Rovinná transmisní fotoelasticimetrie nám umožňuje analyzovat rovinnou i jednoosou napjatost na rovinných tělesech v průchozím světle.

- K uvedeným účelům využíváme polariskopy s přímkově popř. kruhově polarizovaným světlem.



Fotoelasticimetrie

- Intenzita výsledného světelného záření bude v tomto případě dána vztahem:

$$I = sin^2 2\alpha \cdot sin^2 \frac{\varepsilon}{2}$$

kde α vyjadřuje úhel mezi rovinou polarizátoru a analyzátoru a ε vyjadřuje posun fází.

Čáry izoklinné

Izokliny spojují geometrická místa bodů, v nichž je intenzita prošlého světla nulová. S odvoláním na výše uvedenou rovnici platí:

$$sin^2 2\alpha = 0, \alpha = n\frac{\pi}{2} \text{ pro } n = 0,1,2.. ,$$

Směry hlavních napětí v těchto bodech jsou tedy totožné se směry zkřížených rovin polarizačních filtrů. S natáčením polarizačních rovin se poloha izoklin mění.

Fotoelasticimetrie

Singulární body, linie, plochy

I v těchto bodech je intenzita prošlého světla nulová. Jejich poloha však nezávisí na natáčení polarizačních rovin, nýbrž platí:

$$sin^2 \frac{\varepsilon}{2} = 0 \quad \varepsilon = 2m\pi \quad pro \; m = 0,1,2,..$$

Tmavá místa tedy vzniknou v bodech, kde je fázový posun dvou paprsků roven celému násobku vlnové délky daného světla.

V případě *m=0* nastává zvláštní případ, kdy se oba paprsky vůči sobě fázově neposunou a vznikají výše uvedené singulární body, linie nebo plochy, platí tedy:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = 0$$

Čáry izochromatické

V případě nenulového rozdílu hlavních napětí vznikají tzv. izochromaty. Izochromaty jsou geometrická místa bodů, ve kterých je rozdíl hlavních napětí konstantní.

Fotoelasticimetrie

Intenzita prošlého světla je v těchto bodech rovněž nulová. Izochromatám je ve většině případů přiřazován řád podle násobku vlnové délky, platí:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{\lambda}{t \cdot c} m = konst \neq 0$$

<u>Čáry izostatické</u>

Izostaty jsou křivky, k nimž tečna v daném bodě určuje směr hlavního napětí v tomto bodu. Smyková napětí jsou podél těchto křivek nulová.

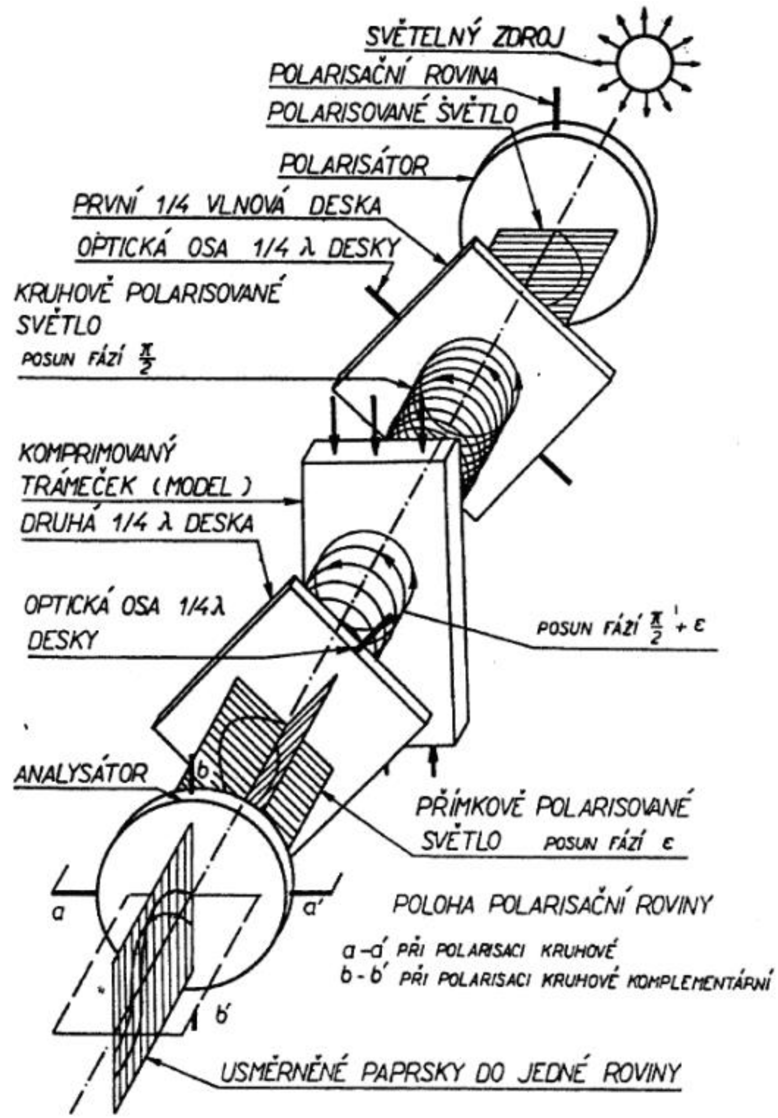
Fotoelasticimetrie

Polariskop s kruhově polarizovaným světlem

- Při použití polariskopu s přímkově polarizovaným světlem se izochromaty a izokliny, popř. singulární body vzájemně překrývají.
- Z toho důvodu se využívá polariskop s kruhově polarizovaným světlem, díky němuž se v zorném poli neobjeví čáry izoklinné a obraz izochromat tedy není nijak rušen. Pro intenzitu prošlého světla platí:

$$I = sin^2 \frac{\varepsilon}{2}$$

- Je tedy zřejmé, že intenzita prošlého světla není závislá na úhlu α mezi polarizační rovinou a směrem hlavních napětí – jak je uvedeno výše, nevznikají tedy čáry izoklinné.



Fotoelasticimetrie

Stanovení konstanty optické citlivosti

Konstanta optické citlivosti *k* slouží k přepočtu mezi optickými a mechanickými veličinami:

$$k = \frac{t}{m}(\sigma_1 - \sigma_2)$$

- Jestliže v námi vyšetřovaném bodě dokážeme stanovit jednak rozdíl hlavních napětí a řád izochromatických čar (velikost relativního dvojlomu), pak pro známou tloušťku *t* je možné stanovit konstantu optické citlivosti *k*. V zásadě se využívají tři postupy:

- **Tahová epruveta**
- **Ohyb nosníku**
- **Stlačování kruhového disku**

Fotoelasticimetrie

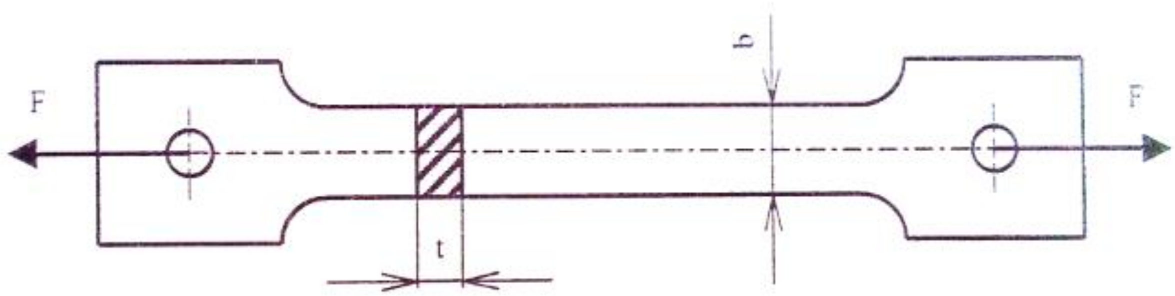
Tahová epruveta

- Z opticky citlivého materiálu se vyrobí vzorek uvedený na následujícím obrázku, který je posléze zatěžován prostým tahem.
- Zaznamenává se síla F, při které se v části s konstantním průřezem objeví izochromaty celých popřípadě polovičních řádů.
- Pro velikost hlavních napětí platí:

$$\sigma_1 = \frac{F}{bt}; \sigma_2 = 0$$

- Konstantu optické citlivosti poté vypočteme ze vztahu:

$$k = \frac{t}{m}(\sigma_1 - \sigma_2) = \frac{tF}{mbt} = \frac{F}{mb}$$



Fotoelasticimetrie

Ohyb nosníku

- V úseku mezi podporami (viz Obr) vzniká vlivem působení síly F čistý ohyb. V okolí krajních vláken vzniká jednoosá napjatost, platí:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{w_o} = \frac{6Fa}{th^2}$$

- Dále platí:

$$\sigma_1 = \sigma_o = \frac{M_o}{w_o}; \sigma_2 = 0$$

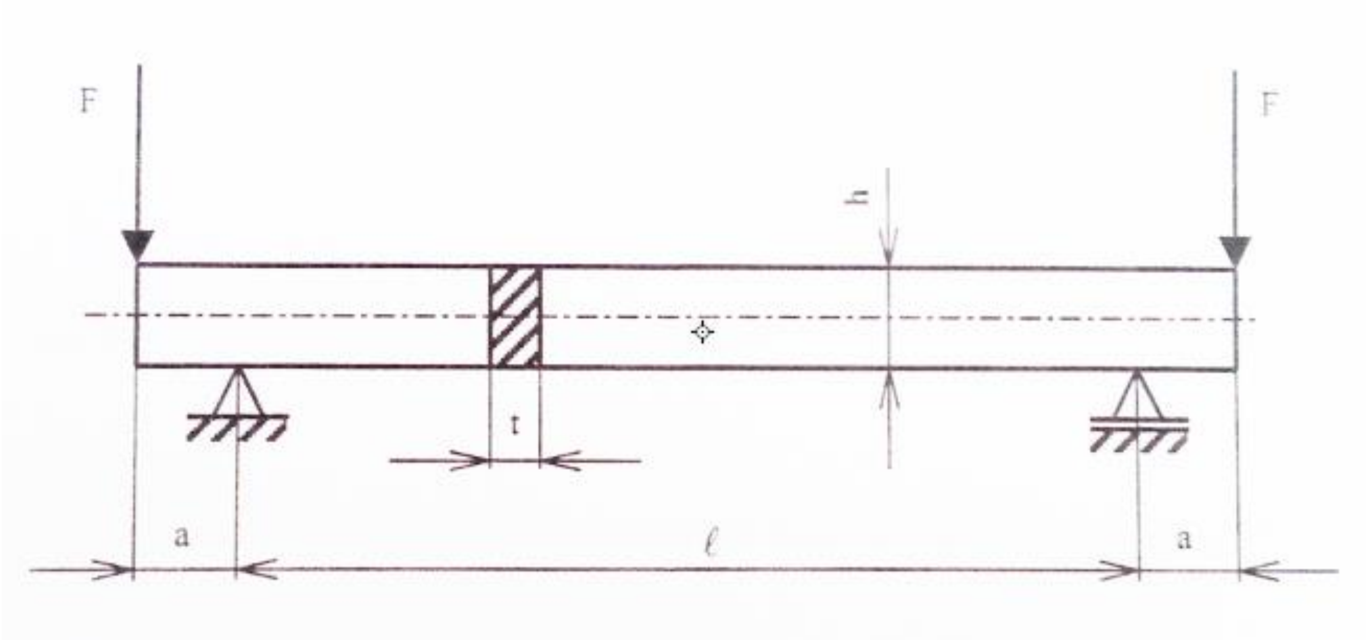
- Pro konstantu optické citlivosti platí:

$$k = \frac{t}{m}(\sigma_1 - \sigma_2) = \frac{t6Fa}{mth^2} = \frac{6Fa}{mh^2}$$

- Při měření postupujeme tak, že se zaznamenává síla F, při které se izochromaty celých řádů přesunou do polohy krajních vláken nosníku.

Fotoelasticimetrie

Ohyb nosníku



Fotoelasticimetrie

Stlačování kruhového disku

- Na následujícím obrázku je uveden způsob zatížení kruhového disku z opticky citlivého materiálu. Z teorie pružnosti jsou známy analytické vztahy pro velikost hlavních napětí v bodě S (střed kruhového disku):

$$\sigma_1 = \frac{2F}{\pi dt}; \sigma_2 = -\frac{6F}{\pi dt}$$

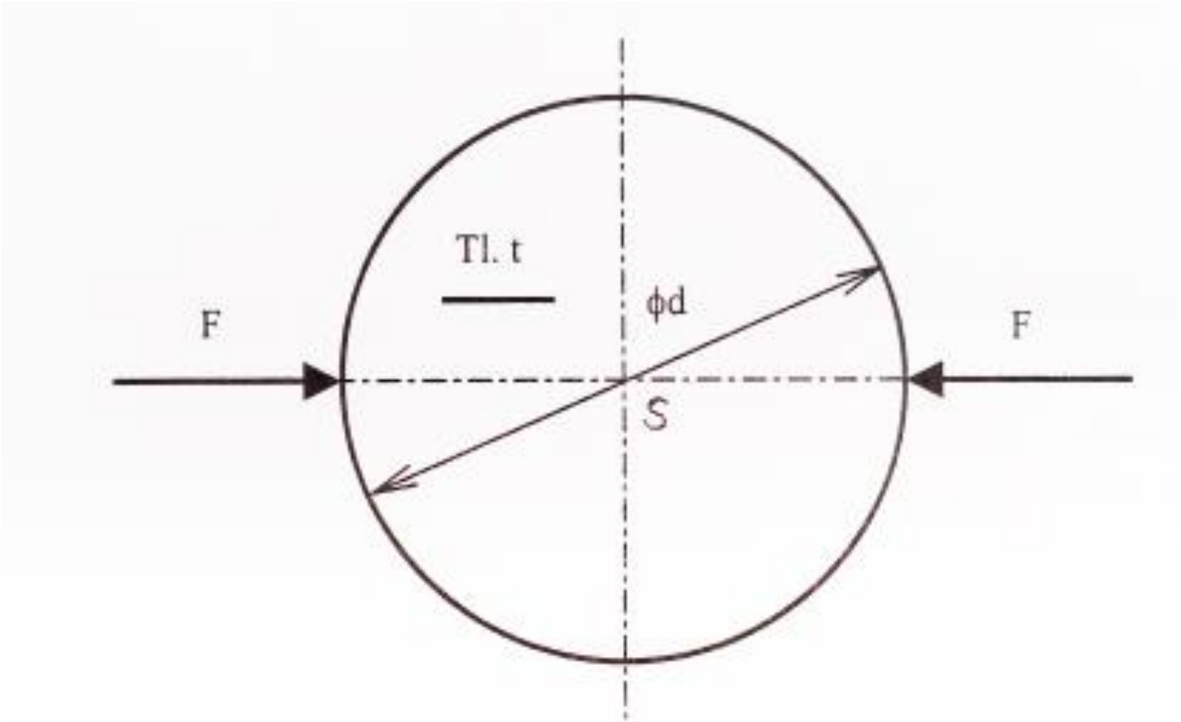
Pro konstantu optické citlivosti platí:

$$k = \frac{t}{m}\left[\frac{2F}{\pi dt} + \frac{6F}{\pi dt}\right] = \frac{8F}{\pi dm}$$

Při měření postupujeme tak, že se zaznamenává síla F, při které se v bodě S objeví izochromaty plných popřípadě polovičních řádů.

Fotoelasticimetrie

Stlačování kruhového disku



Literatura

[1] Vlk, M.; Houfek, L; Hlavoň, P; Krejčí, P; Kotek, V; Klement, J.: Experimentální mechanika, Brno, 2003, elektronické skriptum dostupné na adrese :

http://ean2011.fme.vutbr.cz/img/fckeditor/file/opory/Experimentalni_mechanika.pdf

[2] Macura, P.: Experimentální metody v pružnosti a plasticitě, Skriptum VŠB-TU Ostrava, 2001, 107 s.