

VLIV KOMPENZACE PŘEMÍSTĚNÍ U HI A SPEKLOVÝCH METOD NA ROZSAH MĚŘENÍ A NA PŘESNOST VYHODNOCENÍ NAPJATOSTI

Karel Tomančák

Příspěvek se zabývá rozbořem metod umožňujících kompenzaci přemístění tuhého tělesa jako celku, eventuálně vyšetřované oblasti jako celku, a to jak u holografické interferometrie /HI/, tak i u spekových metod. Zvláštní pozornost je věnována tzv. kontaktní sendvičové spekové metodě, která je pro EAM zvláště vhodná. Jsou uvedeny výsledky numerického testu vlivu kompenzace na přesnost vyhodnocení složek tenzoru deformace na povrchu vyšetřovaného tělesa při užití diferenciálního přístupu ke zpracování naměřeného přemístění.

1. Přehled metod umožňujících kompenzací přemístění

Je všeobecně známo, že užití HI i všech metod využívajících spekového jevu k měření vlastní deformace způsobené zatížením je limitováno jednak přídavným přemístěním tuhého tělesa jako celku, způsobeným konečnou tuhostí nebo jonou nedokonalostí zatěžovacího systému a jednak výsledným přemístěním vyšetřované oblasti jako celku. Zatímco první vliv můžeme vhodným způsobem omezit na přijatelnou hodnotu, druhý vliv je spojen s deformací, kterou vyšetřujeme a můžeme ho kompenzovat pouze úpravou vlastní měřicí metody. Této skutečnosti je v literatuře věnována pozornost pouze v souvislosti s limitovaným rozsahem užití v EAM, pokud uvedená přemístění dosahují takových hodnot, že vyhodnocení interferogramu neumožňují nebo způsobují ztrátu korelace mezi oběma záznamy.

Faktu, že celkové přemístění vyšetřované oblasti, superponované na složky přemístění, jejichž změny nás zajímají, má vliv na přesnost vyšetření poměrných deformací není v literatuře věnována pozornost, pravděpodobně proto, že neexistuje obecný matematický model pro kvantitativní vyhodnocení těchto vlivů.

Historicky nejstarší holografická metoda kompenzace navržená Corcoranem a kol. /1/ spočívá v tom, že na vyšetřovaný objekt je připevněno zrcátko, od kterého se odráží referenční svazek. Při pohybu předmětu se mění současně se změnou délky předmětového svazku i délka svazku referenčního. Obdobou uvedené metody je způsob kom-

penzace, který navrhl Waters /2/, s referenčním svazkem, který se odráží přímo od vyšetřovaného objektu, na který je fokusován a má spektivní strukturu. Užití objemových odrazných hologramů připevněných k povrchu předmětu navrhli, především pro zkvalitnění holografických záznamů, Neumann a Penn /3/. "Bodové" připevnění holografické desky, které je pro využití v EAN nutné, zavedl Boone /4/ a pro měření přemístění využívá zde jak holografického interferogramu, tak i spektivního záznamu. Objemové hologramy připevněné k předmětu byly užity i pro zkoumání zákonitostí šíření trhliny v iniciační fázi, která vycházela z hranového vrubu /5/.

Samostatnou skupinu tvoří metody s elektronickou zpětnou vazbou se servosystémem. Je možno použít buď systém s fázovou nebo frekvenční modulací. Metodu fázové modulace navrhli Neumann a Rose /6/. Pohyb předmětu způsobí změnu fáze mezi referenčním a předmětovým svazkem a tím se změní i rozložení světla ve fotoemulzi, které snímá z hologramu optika na fotodetektor, který vyšle impuls do zpětnovazebního bloku, který přes servomotor ovládá zrcátko ve větvi referenčního svazku. Rose a Pruett navrhli frekvenční kompenzaci změn dráhy svazků posouváním zrcátka rezonátoru laseru /7/.

Uvedené metody by obecně řešily problém kompenzace, pokud by při obecném pohybu tělesa jako celku nedošlo pro celou vyšetřovanou oblast tělesa k relativní změně mezi referenční a předmětovou vlnou. De Larminat a Wei se touto otázkou zabývali podrobněji /8/ a navrhovali metodu kompenzace v reálném čase. Translace je kompenzována stejnou translací hologramu a rotace objektu určitým natočením předmětové vlny. Praktická aplikace metody naráží na problémy, jestliže neznáme hodnoty posunutí a natočení, které máme kompenzovat. Určité možnosti nabízí i sendvičová HI /9/.

Ze spektivních metod se vedle metody bez zobrazující optiky /10/, která je použitelná pouze pro transparentní objekty, jeví jako zvláště výhodná pro EAN spektivní sendvičová kontaktní metoda /11/. Popíšeme postup při vyšetření obecného vektoru přemístění s kompenzací translace s využitím uvedené metody. Poblíž obecného bodu B, ve kterém vyšetřujeme vektor přemístění $\vec{u}_1$, zvolme referenční bod R. Prakticky tento bod realizujeme přilepením malého terčíku na těleso. Spektivní záznam provedeme na dva sendviče, jejichž orientace vzhledem k zvolenému souřadnému systému je dána maticí směrových kosinů a_{ij}^1 , resp. a_{ij}^2 /osu x_3 volíme v obou případech kolmou

na rovinu sendviče/. U sendviče 1 naměříme pro body R a B složky přemístění $u_1^R = u_j^R a_{ij}^1$, resp. $u_1^B = u_j^B a_{ij}^1$. Podobné vztahy dostáváme i pro sendvič 2. Provedeme-li nyní vzájemnou translaci desek u obou sendvičů tak, aby vždy obe měřené složky přemístění pro referenční bod R byly nulové, provedeme tím kompenzaci translace přemístění tělesa jako celku a zároveň kompenzaci přemístění oblasti reprezentované bodem R. Nyní místo složek u_i bodu B vypočteme translaci korigované složky u_i^k z následující soustavy lineárních rovnic:

$$\begin{bmatrix} a_{11}^1 & a_{12}^1 & a_{13}^1 \\ a_{21}^1 & a_{22}^1 & a_{23}^1 \\ a_{11}^2 & a_{12}^2 & a_{13}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1^k \\ u_2^k \\ u_3^k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1^1 \\ u_2^1 \\ u_1^2 \end{bmatrix},$$

kde u_1^1 , u_2^1 jsou naměřené hodnoty přemístění po kompenzaci u sendviče 1 ve směrech x_1^1 resp. x_2^1 a podobně u_1^2 hodnota přemístění ve směru x_1^2 u sendviče 2.

2. Vliv kompenzace na přesnost složek poměrné deformace

Pro posouzení kvantitativního vlivu kompenzace byl zvolen numerický test pro zatížení tělesa, které dokážeme teoreticky řešit na úrovni přemístění. Dle obr. 1 uvažujeme tažený pás s kruhovým otvorem a vyšetříme z "experimentálně" určených složek přemístění numericky v bodě B derivaci $u_{1,1}$. Předpokládejme tyto 3 případy:

a) Zatížení $\sigma_1 = 0,349$ MPa, přemístění měříme v souřadném systému O, x_1, x_2 . Navíc uvažujeme přemístění celého tělesa $u_c = 0,03$ mm ve směru x_1 . Materiálové konstanty $E = 3300$ MPa, $\mu = 0,35$.

b) Zatížení $\sigma_2 = 1$ MPa, přemístění měříme vzhledem k nehybnému souřadnému systému jako v případě a), přemístění tělesa jako celku je však nulové.

c) Zatížení $\sigma_3 = 5,15$ MPa, přemístění měříme vzhledem k systému R, x_1', x_2' , který se pohybuje s tělesem. V tomto případě je automaticky provedena kompenzace přemístění tělesa jako celku.

Ve všech případech jsme volili zatížení tak, abychom v bodě B obdrželi stejné přemístění. Význam kompenzace pak spočívá v tom, že pro případ c) dostáváme největší a pro případ a) nejmenší gradient deformace. Složka $u_{1,1} = \epsilon_{11}$ byla určena derivováním hlazených splajnů aproximovaných z přemístění v bodech $x_1 = 148, 149, 150, 151$,

152 mm. Simulovaná měření byla provedena tak, že na teoretické hodnoty přemístění byly superponovány chyby s gaussovským rozdělením s poměrnou standardní odchylkou δu . V tab. 1 je srovnání poměrných standardních odchylek $\delta u_{1,1}$ pro uvažované případy, a to vždy z 1000 "měření". Hodnota p je volený parametr pro hlazení splajnu, přičemž pro $p \rightarrow 0$ se splajn blíží lineární regresi a pro $p \rightarrow \infty$ kubickému splajnu bez hlazení.

- /1/ Corcoran V.J. et al.: Appl. Opt. 5 (1966), 668.
- /2/ Waters J.P.: Appl. Opt. 11 (1972), 630.
- /3/ Neumann D. - Penn R.C.: J.Opt.Soc.Amer. 57 (1972), 1373.
- /4/ Boone P.M.: Opt.Acta 22 (1975, 579.
- /5/ Kvapil J. - Tomančák K.: AUPO, Fac.r.n.: Physica XIX (1980), 5.
- /6/ Neumann D.B. - Rose H.W. Appl.Opt. 6 (1967), 1997.
- /7/ Rose H.W. - Pruet H.D.: Appl.Opt. 7 (1968, 87.)
- /8/ De Larminat P.M. - Wei R.P.: Exp. Mech. 16 (1976), 241.
- /9/ Abramson N.: Appl Opt. 14 (1975), 981.
- /10/ Tomančák K.: Sb.konf. RAN, Karlovy Vary 1982.
- /11/ Fagan W.F. - Negm Y.: Laser + Elektrooptik Nr.2 (1979), 32.

Tab. 1

δu	$\delta u_{1,1}$					
	případ a)		b)		c)	
	$p=0,1$	10	0,1	10	0,1	10
$1 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$6,5 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$3,7 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$
$1 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-1}$	$2,9 \cdot 10^{-1}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-1}$	$8,9 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$

