

SPECKLE INTERFEROMETRICKÉ MERANIE NAPÄTÍ V BIMETALE

Milan Držák, Ústav stavebníctva a architektúry SAV
842 20 Bratislava

1. Úvod

Teplotná roztlačnosť materiálov spôsobuje pri zmenách ich teploty termické napätia. Ak si predstavíme homogénne teleso, ktoré je voľne uložené, pri zahriatí na konštantnú teplotu zmení svoje rozmery i objem. Keďže nič nebráni jeho deformácii, nevzniknú v ňom žiadne napätia. V technickej praxi sa však stretávame s konštrukčnými prvkami so zložitejšími okrajovými podmienkami. Vyskytujú sa problémy s napätosťou, ktorá vzniká pri rovnomernom rozdelení teplotného poľa v konštrukčnom prvku, ak tento nie je voľne uložený. Ďalšie prípady sú problémy, ak tepelný tok sledovaným telesom nie je konštantný. Teplotný gradient, ktorý takto vznikne, zapríčiňuje lokálne deformácie a vznik napätí. Tretí okruh zahŕňa všetky prípady, pri ktorých teplota časti telesa sa mení. Výsledné napätové pole sa mení v čase.

2. Teplotné napätia v austenitických návaroch.

Interakcia dvoch materiálov s rôznymi koeficientami teplotnej roztlačnosti je problémom, s ktorým sa stretávame napr. pri návaroch austenitickej vrstvy na základný materiál. Typickým príkladom sú oceanné antikoročné výstelky v jadrových reaktoroch, ktoré pracujú v relatívne náročných režimoch. Experimentálne sme merali napätosť v bimetalických vzorkách z takýchto materiálov. Teplotný režim predstavoval zahriatie vzoriek na konštantnú teplotu. Vzorky v podobe nosníkov boli uložené voľne, termické napätia v nich vznikali vplyvom rozdielnych koeficientov teplotnej roztlačnosti oboch materiálov. V tenkej rovinnnej doske, pokiaľ sa jej teplota po hrúbke nemení, vzniká rovinná napätosť [1]. Pre takéto teleso podrobené konštantnej zmene teploty potom

platí

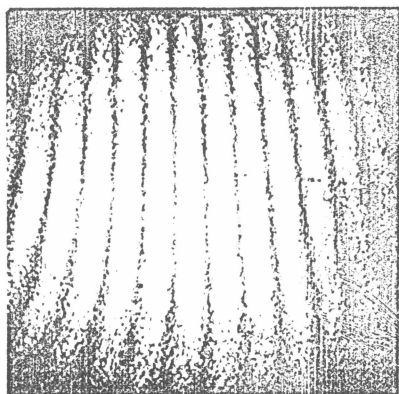
$$\sigma_{ij} = \lambda \varepsilon_{kk} \delta_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij} + \frac{\alpha E T}{1-\nu} \delta_{ij}. \quad (1)$$

Tu α je koeficient dĺžkovej teplotnej rozťažnosti materiálu, $T = T_2 - T_1$ je zmena teploty, σ_{ij} a ε_{ij} sú komponenty tenzora napätia a deformácie, E je Youngov modul pružnosti, λ a μ sú Lamého konštanty a δ_{ij} je Kroneckerov symbol. Poznamenajme, že tieto vzťahy platia za predpokladu lineárne pružného materiálu a teplotne nezávislých materiálových konštánt. V reálnych podmienkach sa často na rozhraní materiálov po zvarovaní vytvárajú zvyškové napätia, ktoré môžu presiahnuť lineárnu oblasť. Vzorky, ktoré sme experimentálne sledovali, boli žiňané, preto získané priebehy napätí zrejme nie sú uvedenými faktormi ovplyvnené.

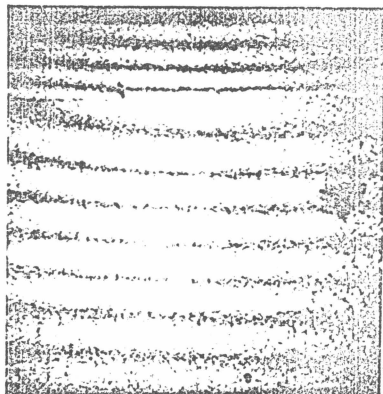
3. Experimentálne meranie napätí

Pri riešení úloh spojených s termickými napätiami je veľmi perspektívne využitie metód holografickej resp. speckle interferometrie. Tieto metódy sa vyznačujú presnosťou merania mikroskopických premiestnení, bezkontaktnosťou merania a nevyžadujú špeciálnu úpravu povrchu materiálu [2,3]. Pri experimentoch sme použili interferenčnú techniku, ktorú môžeme zaradiť medzi metódy speckle interferometrie [4]. Na rozdiel od klasickej speckle techniky sa tu však používa tzv. dvojkanálový spôsob zápisu informácie. Spočíva v tom, že objekt sa opticky sleduje pod dvoma uhlami, symetricky od kolmice na povrch objektu. Laserové svetlo difúzne odrazené od objektu prechádza dvoma optickými kanálmi a sústreďuje sa v spoločnom obraze, pričom vzájomnou interferenciou vytvára hologram. Pri formovaní takéhoto hologramu sa nepoužíva samostatný referenčný zväzok, preto pri premiestnení objektu v smere pozorovania nevzniká dráhový (t.j. i fázový) rozdiel. Fázové posunutie však nastáva pri pohyboch kolmo na smer pozorovania. Jeho výsledkom je skutočnosť, že pri rekonštrukcii takéhoto dvojexpozíčného hologramu vzniknú interferenčné čiary. Čiary predstavujú izolínie rovnakých hodnôt meranej zložky vektora premiestnenia v rovine povrchu objektu.

Na Obr.1 a Obr.2 sú uvedené príklady takýchto interferen-

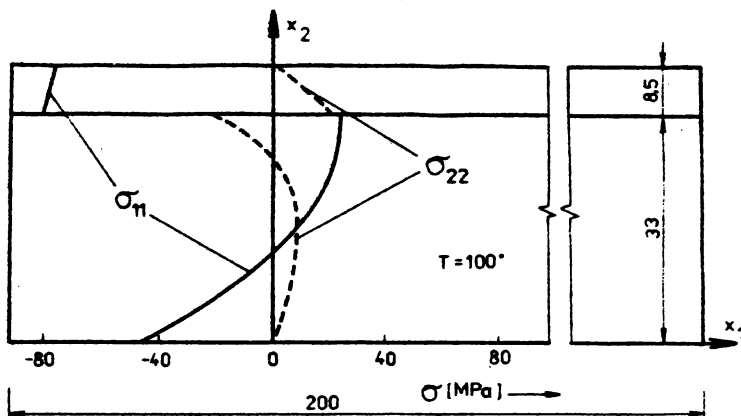


Obr. 1



Obr. 2

čných obrazcov zaznamenaných pri meraní teplotnej deformácie. Obr. 1 ukazuje izotéty zložky x_1 (v smere osi x_1) a Obr. 2 čiary ortogonálnej zložky x_2 . Teplotný rozdiel je v oboch prípadoch 25°C . Na vyhodnotenie napätí je potrebné súradnicové závislosti zložiek premiestnení x_1, x_2 derivovať. Získané závislosti preto obvykle aproximujeme vhodnými polynómami (napr. Čebyševými), ktoré zaručia presnosť vypočítaných hodnôt derivácií. Krivky závislostí, ktoré sme namerali, boli však blízke priamkam, preto postačovalo grafické vyhodnotenie derivácií. Vyhodnotený priebeh napätí v meranom bimetale je nakreslený na Obr. 3. Na obrázku sú tiež uvedené celkové rozmery vzorky. Hodnoty napätí sú uvedené pre zahrievanie vzorky a teplotný rozdiel 100°C . Rozdiel teplôt sa meral ortuťovým teplomerom zasunutým v otvore vo vzorke s naliatym silikónovým olejom. Merali sa rôzne teplotné intervaly, maximálna teplota vzorky však nepresiahla 150°C . Hodnoty modulov pružnosti oboch materiálov ($E_1 = E_2 = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$) ako aj koeficientov teplotnej rozťažnosti výstelky ($\alpha_1 = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ deg}^{-1}$) a základného materiálu ($\alpha_2 = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ deg}^{-1}$) sme zobrali s tabuliek. Zistili sme však, že pri vyhodnotení meraní na výsledné hodnoty napätí značne vplyvajú najmä nepresne zadané koeficienty teplotnej rozťažnosti. Z tohoto dôvodu na presnejšie poznanie stavu napätia pri podobných meraniach bude potrebné tieto koeficienty experimentálne merať.



Obr. 3

4. Záver

Na základe uskutočnených experimentov s meraním poľa premiestnení na teplotne namáhaných vzorkách môžeme konštatovať nasledujúce skutočnosti:

- napriek voľnému uloženiu bimetalických konštrukčných prvkov pri teplotách niekoľko sto $^\circ\text{C}$ dosahujú napätia vysokých hodnôt
- podľa nameraných priebehov interferenčných čiar sa zdá, že silné prehriatie oboch materiálov pri zvarovaní (austenitická a uhlíková ocel) nezmenilo príliš ich materiálové konštanty v oblasti rozhrania
- kvantitatívne hodnoty napätí na rozhraní značne závisia od presných hodnôt materiálových konštánt, pri detailnom rozbere napätostí na rozhraní materiálov je nutné tieto parametre presne merať
- z hľadiska použitej meracej metódy môžeme usudzovať, že rozpracovaná speckle interferenčná metóda s dvojkanálovým spôsobom zápisu je dostatočne presná na snímanie rovinných zložiek premiestnení a spoľahlivosťou a presnosťou výsledkov podstatne predčí klasický spôsob, ktorý je málo citlivý a veľmi závislý na technickej kvalite zobrazujúcich objektívov

Literatúra

- 1 Timošenko, S.P., Gudjer, Dž.: Teorija uprugosti, Moskva 1979
- 2 Harris, W.J., Woods, D.C.: Thermal stress studies using optical holographic interferometry, Mater. Eval., 32, 50 (1974)
- 3 Kudrin, A.B., Poluchin, P.J., Čičenev, N.A.: Golografija i deformacija metallov, Moskva 1982
- 4 Držík, M.: Holografický interferometer na meranie premiestnení kolmých na smer pozorovania, PV 00518 - 89