

Experimentální **A**nalýza **N**apětí **2003**

CONJUGATED AXIAL FORCE AND TORQUE STRAIN-GAUGE TRANSDUCER

SDRUŽENÝ SNÍMAČ OSOVÉ SÍLY A KROUTICÍHO MOMENTU

Jan Fuxa¹, Martin Fusek², František Fojtík³, Karel Frydryšek⁴, Rostislav Kubala⁵, Jiří Lenert⁶,
Pavel Macura⁷, Radim Halama⁸

The tube shape transducer element strained together by axial force and torque and its stress-strain state. Normal and shear stresses. Mohr's circle equations. Solved axial force – see equation (13) and solved torque – see equation (14). The strain-gauges orientation scheme. The strain-gauges quarter bridges scheme.

Keywords

Stress-strain state, strain-gauge, axial force transducer, torque transducer.

Úvod

Při návrhu zkušebního stroje pro výzkum pevnosti materiálu v podmínkách víceosé napjatosti [1] jsme byli, mimo jiné, nuceni navrhnout snímač umožňující současně měřit osovou sílu F_A a krouticí moment M_K . Komerčně vyráběné piezokrystalické snímače byly příliš nákladné. Rozhodli jsme se pro trubkový tenzometrický snímač [2], popisovaný v následujícím textu.

1. Napět'ově-deformační stav

Při současném kroucení a roztahování/stlačování tenkostěnné trubky ve směru její osy x se v bodě na povrchu pláště vyskytuje napětí:

$$\sigma_\alpha = (\sigma_x + \sigma_y) / 2 + (\sigma_x - \sigma_y) \cdot \cos(2\alpha) / 2 + \tau_{xy} \cdot \sin(2\alpha), \quad (1)$$

$$\tau_\alpha = (\sigma_x - \sigma_y) \cdot \sin(2\alpha) / 2 - \tau_{xy} \cdot \cos(2\alpha), \quad (2)$$

kde směr y je kolmý ke směru x a úhel α svírá normálové napětí σ_α (obecné roviny) s osou x . Napětí jsou indexována podle běžných zvyklostí [3].

Obdobně lze psát pro poměrné deformace ε a zkoso γ :

všichni Fakulta strojní VŠB-TU Ostrava, 17. Listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, ¹ Prof. Ing. Jan Fuxa, CSc., tel.: +420-59-699-4412, e-mail: jan.fuxa@vsb.cz, ² Ing. Martin Fusek, martin.fusek@vsb.cz, ³ Ing. František Fojtík, frantisek.fojtik@vsb.cz, ⁴ Ing. Karel Frydryšek, Ph.D., karel.frydrysek@vsb.cz, ⁵ Ing. Rostislav Kubala, CSc., rostislav.kubala@vsb.cz, ⁶ Prof. Ing. Jiří Lenert, CSc., jiri.lenert@vsb.cz, ⁷ Prof. Ing. Pavel Macura, DrSc., pavel.macura@vsb.cz, ⁸ Ing. Radim Halama, radim.halama@vsb.cz

$$\varepsilon_{\alpha} = (\varepsilon_x + \varepsilon_y) / 2 + (\varepsilon_x - \varepsilon_y) \cdot \cos(2\alpha) / 2 + \gamma_{xy} \cdot \sin(2\alpha) / 2, \quad (3)$$

$$\gamma_{\alpha} / 2 = (\varepsilon_x - \varepsilon_y) \cdot \sin(2\alpha) / 2 - \gamma_{xy} \cdot \cos(2\alpha) / 2. \quad (4)$$

Při současném zatížení snímače osovou silou F_A , působící ve směru osy x , a krouticím momentem M_K , otáčejícím kolem osy x , platí:

$$\sigma_x = F_A / S = F_A / [\pi \cdot (d_2^2 - d_1^2) / 4], \quad (5)$$

$$\tau_{xy} = M_K \cdot R_{\max} / J_p = M_K \cdot (d_2 / 2) / [\pi \cdot (d_2^4 - d_1^4) / 32], \quad (6)$$

kde d_2 (d_1) je vnější (vnitřní) průměr trubky – aktivní části snímače.

Z rozšířeného tvaru Hookeova zákona dále pro popsání způsobu zatížení plyne:

$$\varepsilon_x = (\sigma_x - \mu \cdot \sigma_y) / E = \sigma_x / E, \quad (8)$$

$$\varepsilon_y = (\sigma_y - \mu \cdot \sigma_x) / E = -\mu \cdot \sigma_x / E, \quad (9)$$

$$\gamma_{xy} = \tau_{xy} / G = \tau_{xy} \cdot 2 \cdot (1 + \mu) / E, \quad (10)$$

kde E (G) je modul pružnosti v tahu (smyku) a μ je Poissonova konstanta materiálu snímače.

Jsou-li odporové tenzometry lepeny na povrchu pláště ve směrech svírajících s osou x úhly $\alpha_1=45^\circ$ a $\alpha_2=135^\circ$, pak jsou jimi měřené poměrné deformace určeny vztahy:

$$\varepsilon_{\alpha 1} = (\varepsilon_x + \varepsilon_y) / 2 + \gamma_{xy} / 2, \quad (11)$$

$$\varepsilon_{\alpha 2} = (\varepsilon_x + \varepsilon_y) / 2 - \gamma_{xy} / 2, \quad (12)$$

které po dosazení dávají výrazy:

$$\varepsilon_{\alpha 1} = F_A \cdot (1 - \mu) / (2 \cdot S \cdot E) + M_K \cdot R_{\max} \cdot (1 + \mu) / (E \cdot J_p), \quad (11a)$$

$$\varepsilon_{\alpha 2} = F_A \cdot (1 - \mu) / (2 \cdot S \cdot E) - M_K \cdot R_{\max} \cdot (1 + \mu) / (E \cdot J_p). \quad (12a)$$

Sečtením a odečtením rovnic (11a) a (12a) získáme:

$$F_A = \{\pi \cdot (d_2^2 - d_1^2) \cdot E / [4 \cdot (1 - \mu)]\} \cdot (\varepsilon_{\alpha 1} + \varepsilon_{\alpha 2}), \quad (13)$$

$$M_K = \pi \cdot (d_2^4 - d_1^4) \cdot E / [32 \cdot (1 + \mu) \cdot d_2] \cdot (\varepsilon_{\alpha 1} - \varepsilon_{\alpha 2}). \quad (14)$$

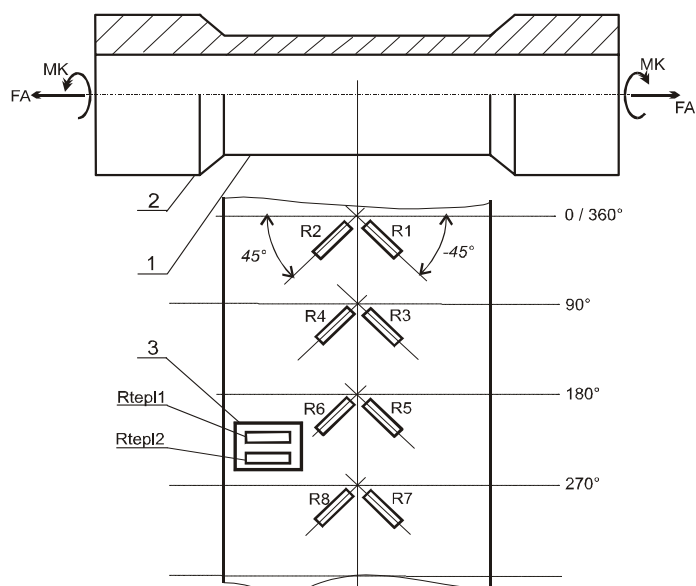
Pro současné měření F_A a M_K lze tedy navrhnout „trubkový tenzometrický snímač“ s tenzometry lepenými v úhlech $\pm 45^\circ$ vůči ose trubky – viz Obr.1 a Obr.2. Pro eliminaci případných parazitních ohybových momentů lze tenzometry uspořádat do „čtveřic“ podle Obr.1 a Obr.3.

V Obr.1 položka 1 označuje aktivní část snímače, 2 – upínací hlavu, 3 – prstenec. V obrázcích dále značí: R_{tepl1} , R_{tepl2} tenzometry pro teplotní kompenzaci, lepené na prstenec 3 - nezatíženou část snímače. [R1, R3, R5, R7] a [R2, R4, R6, R8] jsou dvě čtveřice tenzometrů lepených v úhlech $+45^\circ$ a -45° , sérioparalelní zapojení umožňuje eliminovat případné parazitní ohybové momenty – viz Obr.3. RZA1, RZB1 (RZA2, RZB2) jsou vestavěné odpory tenzometrických můstků [4]. u_{e1} , u_{e2} jsou měřená elektrická napětí úměrná poměrným deformacím $\varepsilon_{\alpha 1}$ a $\varepsilon_{\alpha 2}$.

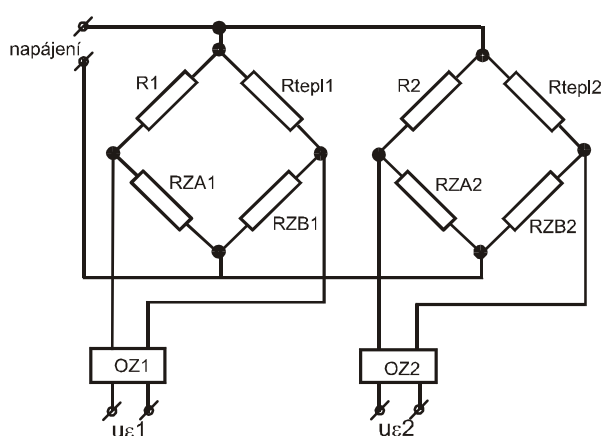
2. Závěr

- Bylo popsáno zapojení tenzometrického snímače umožňujícího současně měřit osovou sílu a krouticím moment.

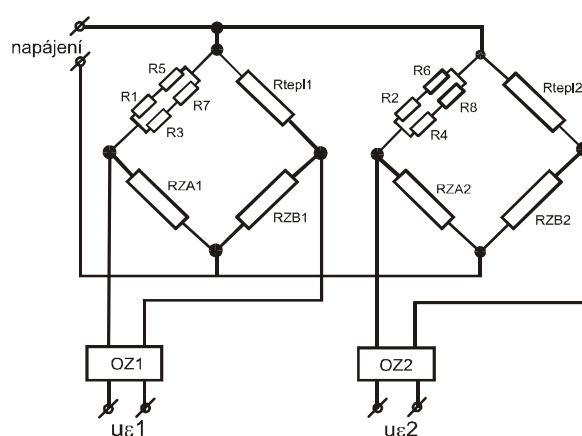
- Snímač zapojený podle Obr.2 nekompenzuje vliv přidavných ohybových momentů. Snímač zapojený podle Obr.3 eliminuje vliv parazitních ohybových momentů.



Obr. 1 – Těleso snímače osové síly a krouticího momentu



Obr. 2 – Zapojení tenzometrů do 1/4 můstku (bez kompenzace vlivu ohybových momentů)



Obr. 3 - Zapojení tenzometrů do 1/4 můstku (s eliminací vlivu ohybových momentů)

3. Literatura

[1] Fuxa, J.: Výzkum kritérií pevnosti kvaziizotropních materiálů namáhaných monotónně rostoucími složkami víceosého napěťového stavu, Závěrečná zpráva projektu GAČR číslo 101/96/1477, VŠB-TU Ostrava, prosinec 1998

[2] Fuxa, J., Novák, P.: Sdružený snímač krouticího momentu a osové síly, Int.Cl. G 01 L 3/00, Úřad průmyslového vlastnictví, číslo dokumentu 11946, zapsáno 6.2.2002

[3] Lenert, J.: Základy matematické teorie pružnosti, VŠB-TU Ostrava, leden 1997, s. 96 ISBN 80-7078-437-7

[4] fa National Instruments: LabVIEW, SCXI, catalog 2001