

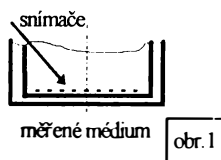
THE SENSIBILITY INCREASE OF THE PRESSURE TRANSDUCER USING THE OPTIMUM STRUCTURE DESIGN

ZVÝŠENÍ CITLIVOSTI TENZOMETRICKÉHO TLAKOVÉHO SNÍMAČE OPTIMALIZACÍ TVARU

Karel VÍTEK

This paper deals with the shape arrangements of the axial dynamometr in order to obtain the optimum sensibility and strain functions in its working zone using a generalized principle of the stress-ratio method .

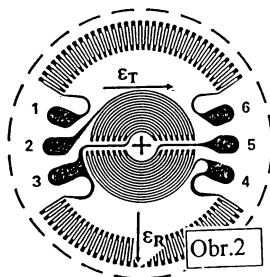
Tenzometrické snímače pro indikaci tlaku v prostoru plynného, kapalného nebo sypkého prostředí mohou využívat (z důvodu ochrany snímačů před agresivními účinky měřeného média) vnitřní kruhové měřicí zóny tenké desky z obr.1. Úroveň měřeného signálu lze v závislosti na přetlaku média p určit přibližně z průběhu hlavních poměrných prodloužení ϵ_T a ϵ_R matematického modelu Kirchoffovy desky, který



obr.1

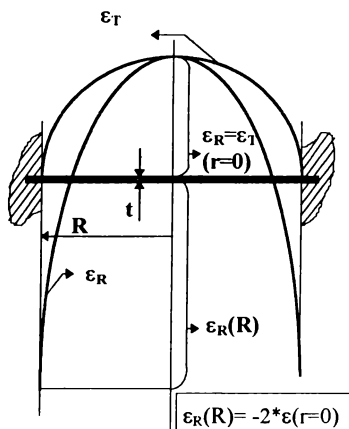
je podle [1] schematizován v obr.3. Tečné poměrné prodloužení ($\epsilon_T \geq 0$ v celé měřicí zóně) má maximum ve středu desky: $\epsilon_T(r=0) = + 3 \cdot p \cdot R^2 \cdot (1 - \mu^2) \cdot (8 \cdot t^2 \cdot E)^{-1}$ { p ...přetlak, μ ...Poissonovo číslo, E ...modul pružnosti v tahu, R ...vnější poloměr}. Suprémem průběhů obou přetvoření je bod: $\epsilon_R(r=R) = - 2 \cdot \epsilon_T(r=0)$.

Předpokládáme dále tlakový snímač malých rozměrů, pro který je možné využít některý typ membránové růžice z obr.2, která při eliminaci lokálních rušivých efektů vykřývá svými tečnými tenzometry oblast vnitřních poloměrů a radiálními tenzometry oblast vnějších poloměrů měřicí zóny na kruhové desce.



Křivky přetvoření z obr.3 odpovídající ideálnímu vetknutí jsou v reálné konstrukci podobné, ale konkrétními hodnotami i o desítky procent odlišné, proto lze pro dimenzování rozměrů tenzometrického snímače použít tento ideální model pouze orientačně.

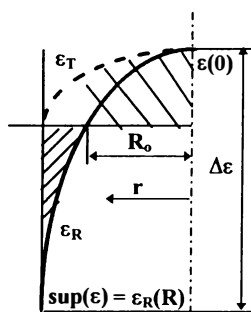
Návrh konstrukčních parametrů s ohledem na soubor kladených požadavků vede obvykle na úlohu nelineárního programování, kterou zde lze v principu formulovat pomocí předepsaného rozložení úrovně přetvoření v oblasti měřicí zóny tenzometrického snímače. U snímače válcového tvaru z obr.1, kde vnější obrys válce je dán užitím snímače (například jeho minimální rozměry), lze tloušťkou deskového dna parametrizovat průběhy funkcí přetvoření a v závislosti na tloušťce dna vytvořit konstrukci nejvyšší možné citlivosti. Na citlivost snímače mají vliv velikosti funkčních hodnot průběhů přetvoření $\epsilon(r)$ v



Obr.3 Hlavní poměrná prodloužení na povrchu vetknuté kruhové desky

oblastech osazených tenzometry růžice, které jsou zobrazeny šrafováním v obr.4 - odlišně pro vnitřní (tečné) a vnější (radiální) tenzometry. Velikosti obou šrafovaných ploch jsou pro konstantní tloušťku $t(r)$ kruhové desky (měřicí zóny) rostoucí

funkcí rozsahu přetvoření $\Delta\epsilon$, proto má smysl formulovat extremalizaci citlivosti snímače jako maximalizaci $\Delta\epsilon$ respektive funkcí $\epsilon(r)$. Tloušťku $t(r)$ lze považovat za s poloměrem r proměnný parametr, ovšem z důvodu praktické realizovatelnosti snímače ji předpokládáme v oblasti měřicí zóny na r konstantní (v ostatních oblastech pak za neměnnou). Funkcionál Φ jako cílová funkce charakterizuje naladění přetvoření, jehož minimalizace vzhledem k parametru - tloušťce t - vystihuje optimální nastavení tloušťky



Obr.4 Funkce $\epsilon(r)$ s vlivem na citlivost snímače

deskového dna snímače (zde ϵ označuje suprémum tečného, nebo radiálního poměrného prodloužení optimalizované oblasti a ϵ_D předepsané přetvoření této oblasti) :

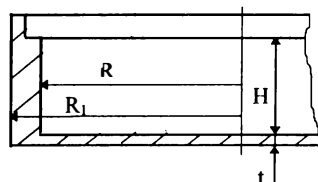
$$\Phi = \sum_i (\epsilon - \epsilon_D)_i^2$$

Vlastní syntézu jsme rozdělili na fázi analýzy, u které využíváme algoritmu MKP, při které je vnějším přetlakem zatížená konstrukce snímače řešena jako rotačně symetrická tenká skořepina s ohledem na ohybová, membránová i smyková napětí. Pro optimalizaci jsme zobecnili poměrně jednoduchý princip metody poměrů napětí publikovaný pro tahové pruty například ve [2]. Průřez **A** nebo obecněji průřezový rozměr **D** (pro který je **A** rostoucí funkcí) získáme v následné iteraci (**j+1**) pro určitou lokalitu nebo konkrétní bod konstrukce podle vztahu :

$$D_{j+1} = D_j * ((\sigma_{RED})_j / \sigma_D)^\beta$$

(σ_{RED} a σ_D jsou redukované a dovolené napětí a exponent β zajišťuje konvergenci iterovaného rozměru **D**). Pro tenzor přetvoření ϵ , související lineárním Hookeovým zákonem s tenzorem napětí lze podobně formulovat optimalizační algoritmus dle vztahu: $t_{j+1} = t_j * (\epsilon_j / \epsilon_D)^\beta$ (t je tloušťka v oblasti měřicí zóny, ϵ_j jsou buď tečné, nebo radiální poměrné prodloužení a ϵ_D předepsané poměrné prodloužení, exponent β zajišťuje konvergenci). Konvexnost problému, respektive jednoznačnost řešení můžeme nepřímo numericky ověřit tak, že pro tutéž optimalizační úlohu spustíme výpočet několikrát z různých startovacích bodů (jiného počátečního stavu parametrů). Konverguje-li algoritmus vždy k témuž řešení, lze s velkou porovaděpodobností optimální řešení za jednoznačné považovat.

Konkrétní konstrukce tlakového snímače z obr.5 má daný poloměr $R=3.75$ mm, $R_1=4.25$ mm, přetlak $p=200$ Kpa a poměrné prodloužení $\epsilon_D=4 \cdot 10^{-4}$. Při volbě výšky $H=1$ mm vychází optimální tloušťka $t=0.128$ mm. Uvažujeme-li, výšku $H=1.5$ mm, bude mít snímač optimální tloušťku měřicí zóny pouze $t=0.108$ mm, což je asi o 20% méně ovšem s ohledem na změnu tuhosti, respektive citlivosti snímače je to značný vliv H (suprémum ϵ ideálně vetknuté desky z obr.3 se liší pro tento optimalizovaný snímač o +46%).



Obr. 5 Závislost optimální tloušťky t na výšce H

LITERATURA:

- [1] TECH NOTE 510 M, Measurements group, INC. - VISHAY, USA
- [2] Gallagher, R.H., Zienkiewicz, O.C. : Optimum Structure Design, Prentice Hall, 1971.
- [3] Vitek K. :Optimální tvar silového snímače, sborník mezinárodní konference EAN, MĚŘÍN, 1993