EAN '92 30th Conference of Experimental Stress Analysis
30. konference o experimentální analýze napětí
2. - 5. 6. 1992 ČVUT Praha Czechoslovakia

PROBLEMS OF LINEARITY OF STRAIN-GAUGE MEMBRANE PRESSURE PROBES

PROBLEMATIKA LINEARITY TENZOMETRICKÝCH MEMBRÁNOVÝCH ČIDEL TLAKU

Šubrt L.

This paper deals with pressure probes, whose active membre is a plane thin membrane or more exactly - a thin plate. This element itself is non-linear so that the whole probe must be non-linear, too. The magnitude of this non-linearity is dicussed and formulas for its evaluation are presented.

Keywords : membrane pressure probe, magnitude of non-linearity

1. Úvod

V některých tlakoměrných čidlech se jako aktivního prvku užívá tenké desky, která se v této aplikaci často nesprávně nazývá membrána. Tento název by byl oprávněný pokud by tento element měl nulovou ohybovou tuhost. U kovových elementů je však ohybová tuhost nezanedbatelná a pokud je takový tlakoměrný element tenký, kombinuje vlastnosti desky namáhané na ohyb a membrány namáhané na tah, popř. i tlak. Protože u membrány se napětí i deformace mění v závislosti na zatěžujícím tlaku nelineárně, musí být nutně i výsledné vlastnosti tenké desky nelineární. Tato skutečnost je v povaze tlakoměrného prvku samotného a je tedy marná snaha odstranit ji. Spíše je třeba umět velikost nelinearity odhadnout a konstruovat tlakoměrný element tak, aby nelinearita byla v přijatelných

mezích.

V moderních tlakoměrných přístrojích se chování "membrány" snímá tenzometricky a to dvěma možnými způsoby. Buď se snímá napětí v "membráně" (ať již tenzometry nalepenými nebo moderněji přímo nadifundovanými do křemíkové destičky), nebo se snímá průhyb ve středu "membrány" a to tak, že se táhlem převádí na obyčejný, lineárně se chovající nosník a jeho průhyb se snímá opět tenzometricky na základě změřeného napětí v něm. Je proto třeba analyzovat nelinearitu tlakoměrné "membrány" jak co do napětí, tak co do průhybu.

2. Nelinearita průhybu

Pro průhyb uprostřed tenké desky na obvodě pevně vetknuté a zatížené rovnoměrně rozloženým tlakem platí rovnice

$$\frac{w_0}{h} + K\left(\frac{w_0}{h}\right)^3 = L\,\frac{pa^4}{Eh^4} \qquad (1)$$

kde w_0 je průhyb v jejím středu, h je její tloušťka, a je její poloměr, E je modul pružnosti v tahu a p je velikost zatěžujícího tlaku. K a L jsou bezrozměrné koeficienty a pro náš případ platí K = 0,528 a L = 0,171. Bližší údaje viz [3]. Rovnici (1) zapíšeme s výhodou v bezrozměrném tvaru

$$\nu + K\nu^3 = L\pi \qquad (2)$$

Význam bezrozměrných parametrů ν a π je zřejmý, porovnáme-li rovnice (1) a (2).

Označíme-li maximální měřený bezrozměrný průhyb hodnotou ν_0, je velikost nelinearity v měřeném rozsahu dána hodnotou n, která je rovna maximální odchylce od přímkového průběhu. Pokud tuto odchylku vyjádříme v procentech maximálního průhybu, lze nelinearitu δ v procentech definovat vztahem

$$\delta = \frac{n}{\nu_0} \cdot 100\ [\%] \qquad (3)$$

Z analytického vyjádření charakteristiky tlakoměrné "membrány" lze výpočtem dojít ke konečnému výrazu pro její nelinearitu. Platí pro ni

$$\delta = 38{,}5 \; \frac{K}{K + 1/\gamma_0^2} \qquad (4)$$

Vidíme, že pokud se měřený rozsah pohybuje v oblasti malých bezrozměrných průhybů ($\gamma_0 << 1$) je nelinearita malá. S rostoucím průhybem však rychle roste a blíží se asymptoticky k hodnotě 38,5%.

3. Nelinearita napětí

Napětí v tlakoměrné "membráně" se v závislosti na tlaku mění také nelineárně. Skládá se ze dvou složek a to jednak ze složky ohybové a jednak ze složky membránové (tahové či tlakové). Bližší viz opět [3]. Pro velikost nelinearity průběhu napětí v procentech, kterou označíme ρ, lze nyní odvodit vztah

$$\rho = \frac{25}{1 + \frac{\pm R}{S\,\gamma_0}} \qquad (5)$$

kde bezrozměrné koeficienty nabývají hodnot dle [3]. Znaménko ve jmenovateli zlomku v rovnici (5) volíme kladné tam, kde se membránové napětí sčítá s ohybovým a záporné tam, kde se tato napětí odčítají. V případě s kladným znaménkem se velikost nelinearity s rostoucím relativním průhybem asymptoticky blíží k hodnotě 25%, zatímco v případě se záporným znaménkem může růst i nade všechny meze. Jde tedy o nepříznivý případ.

4. Závěr

Tlakoměrné membrány jsou ve skutečnosti většinou tenkými deskami, u kterých je závislost průhybu i napětí na zatížení nelineární. Na tom nic nezmění sebedokonalejší tenzometrické snímání průhybu či deformace. Pomocí výše uvedených vztahů lze ovšem navrhnout měrný element tak, aby nelinearita byla pod přípustnou hodnotu. Pokud se tenzometricky snímá přímo napětí tlakoměrné "membrány", je třeba umístit tenzometry do míst, kde se ohybové napětí sčítá s membránovým.

Literatura :

[1] Timoshenko S., Woinowsky-Krieger S.: Theory of Plates and Shells. (mnoho vydání - i v ruštině)

[2] Vomir A.S.: Gibkie plastinki i oboločki. Moskva 1956

[3] Šubrt L. : Kritéria použitelnosti různých metod pro výpočet kruhových desek. Strojírenství 3, roč. 1969,

Doc.Ing. Ladislav Šubrt,CSc.
Katedra pružnosti a pevnosti, strojní fakulta ČVUT
Technická 4, 166 07 Praha 6
telefon : 332 2516 fax 311 27 68