

MOŽNOSTI ANALÝZY DVOJOSÉ NAPJATOSTI NA ZÁKLADĚ MAGNETOELASTICKÉHO EFEKTU

Ing. Petr Jaroš CSc

Státní výzkumný ústav pro stavbu strojů, Praha-Běchovice

ÚVOD

Makroskopické vnitřní pnutí je v mnoha praktických případech důležitým údajem pro celkové posouzení napětově-deformačního stavu objektů. Jeho výpočet je spolehlivý jen v omezeném počtu případů a proto jsou důležité experimentální metody, které stanovení umožňují přímo. V současné době jsou uspokojivě vyřešeny postupy destruktivní a semidestruktivní, které jsou fyzikálně opřeny přímo o uvolňování hledaných vnitřních pnutí pomocí oddělení vhodně volených objemů materiálu spojeném s měřením následných deformací. Tím však dochází jednak k porušení tělesa a dále jsou všechny tyto postupy časově a odborně náročné. Z toho důvodu směřuje dlouhodobá snaha k nalezení nedestruktivní metody, pomocí níž by bylo možné makroskopické vnitřní pnutí určit. Při řešení úkolu na toto téma v SVÚSS byla pozornost zaměřena na metody nazývané magnetické, speciálně na změnu magnetické vodivosti μ (permeability) v důsledku dvojosé elastické a jednoosé plastické deformace.

MAGNETOELASTICKÝ EFEKT

Tímto názvem je označována změna magnetických vlastností ferromagnetických materiálů v důsledku působení elastického napětí. V technickém měření mechanických veličin je již delší dobu v širším měřítku využívána magnetická anizotropie, která slouží bez hledání bližších fyzikálních souvislostí zejména k vytvoření odolných dynamometrů [1] a na jejím principu je založen i snímač mechanického napětí [2], který je vhodný pro stanovení vnitřních pnutí na tělesech s rovinným povrchem. Pod pojmem magnetoelastický efekt je zpravidla zahrnována změna permeability materiálu při jeho jednoosém mechanickém namáhání, což umožňuje vytvoření snímačů podobných tenzometrům [2].

V dále popisované práci byl proveden předpoklad, že permeabilita μ není pouze materiálovou konstantou μ_0 , ale vektorem, jehož směr i velikost jsou závislé na tenzoru mechanického napětí σ . S ohledem na praktickou proveditelnost měření i aplikaci byly závislosti zjišťovány pro dvojrozměrný případ odpovídající volnému povrchu, tedy $\sigma_3 = 0$ při libovolném typu rovinné napjatosti, tedy v rozsahu formulovaném vztahy

$$-1 \leq \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \leq 1 \quad \text{při } \sigma_2 < \sigma_1.$$

PROVEDENÍ EXPERIMENTU

1) Přípravek pro vytvoření obecné dvojosé napjatosti

Obecná dvojosá napjatost byla vytvářena na měrné ploše 100x100 mm tloušťky 6 mm situované na křížovém vzorku z normalizačně žíhané konstrukční oceli 11 370. Simulace vnitřního pnutí byla prováděna pomocí vnějších tahových a tlakových sil-vnášených do vzorku pomocí masivních diferenciálních šroubů nezávisle v každém z hlavních směrů 1 a 2. Kontrola napěťového stavu byla prováděna lokálně kvantitativně pomocí odporových tenzometrů Mikrotechna M 120 a celoplošně kvalitativně pomocí metody povrchové fotoelasticimetrie (Photo-stress). Tyto údaje sloužily jako nezávisle proměnná pro závislosti $\mu(\epsilon)$.

2) Příložený snímač směrové permeability a anizotropie

Snímač byl vytvořen ze seriového C-jádra opatřeného vinutím, které sloužilo zároveň jako budicí i měrné. Pro snímání magnetické anizotropie bylo ve středu tohoto jádra umístěno v kolmém směru geometricky podobné zmenšené jádro, jež bylo opatřeno měrným vinutím. Měřicí obvod se skládal ze střídavého proudového zdroje, ohmického odporu v seriovém a digitálním voltmetru v paralelním zapojení se snímačem. Rozborem magnetického obvodu snímače přiloženého přímo na povrch vzorku lze ukázat, že údaj voltmetru je přibližně úměrný efektivní permeabilitě oblasti vzorku mezi dotykovými plochami příloženého snímače [3]. Tímto postupem můžeme

při otáčení celého snímače získat polární diagram směrových hodnot permeability příslušný libovolnému typu dvojsové napjatosti. Tento diagram je při všech typech napjatosti v mezích technické přesnosti možné nahradit elipsou, jejíž hlavní osy jsou přesně orientovány do hlavních směrů napětí a jejich rozdíl je v širokém rozsahu úměrný rozdílu hlavních napětí, tedy maximálnímu smykovému napětí. Z tohoto základu byl teoreticky odvozen a experimentálně ověřen vznik signálu na snímáči magnetické anizotropie a jeho polární diagram.

ZÁVĚR

Provedené experimenty jsou původním přínosem k fenomenologickému popisu magnetoelastického jevu při obecné dvojsové napjatosti a objasňují vznik umělé magnetické anizotropie, vratného děje vyvolaného elastickým napětím. Byly zjištěny možnosti měření magnetickou metodou, k nimž patří zejména stanovení hlavních směrů napětí a přibližné určení největšího smykového napětí, ale i omezení metody způsobené zejména nelineárním průběhem závislosti změn permeability na mechanickém napětí, která je příčinou nejednoznačnosti výsledků i při možnostech kalibrace vzorku ze stejného materiálu. Další omezení použitelnosti metody představuje plastická deformace za studena, jejíž efekt na změnu magnetických vlastností je obdobný magnetoelasticitě a nenašel se žádný postup pro jejich rozlišení. Souhrnně lze říci, že magnetická metoda je vhodná jako prostředek rychlé předběžné hrubě kvantitativní analýzy absolutního stavu napjatosti objektů jednoduchého geometrického tvaru, jako metoda předběžného stanovení míst pro aplikaci přesnější, ale také náročnější metody, jakou je rentgenová zpětná difrakce nebo vrztání otvoru, kterým svým charakterem je vhodným doplňkem.

- [1] E. Bauman: Elektrische Kraftmestechnik
(VEB Verlag Technik, Berlin 1976)
- [2] K. Žehnula: Snímače neelektrických veličin
(SNTL Praha 1983)
- [3] P. Jaroš: Možnosti využití magnetoelasticity pro ne-destruktivní stanovení makroskopických vnitřních pnutí v ocelích
(výzkumná zpráva SVÚSS 85-G2026)