



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

DIFFERENT REALIABILITY OF RESULTS OBTAINED AT AN EXPERIMENTAL STRAIN ANALYSIS OF MACHINE PARTS BY METALLIC AND SEMICONDUCTOR STRAIN GAGES AND ITS CAUSES

ROZDÍLNÁ SPOLEHLIVOST VÝSLEDKŮ ZÍSKÁVANÝCH PŘI EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZE NAPJATOSTI STROJNÍCH ČÁSTÍ KOVOVÝMI A POLOVODIČOVÝMI TENZOMETRY A JEJÍ PŘÍČINY

Hrubant L., Kozák K.

The experimental strain analysis of parts of aircraft engines by means of semiconductor strain gages and metallic strain gages ones had proved a substantially higher reliability or results obtained by "the semiconductors". "The semiconductors" permit, in a simple way, indication of all mistakes, resulting by a possible deformation transfer change from the machine part to the strain gage in the course measuring, from value ± 8 microstrain. The metallic strain gage do not allow for this indication.

SEMICONDUCTOR AND METALIC STRAIN GAGES, RELIABILITY OF RESULT

Volba měřicích prvků i metodiky měření, je při experimentální analýze napjatosti vždy vedena snahou získat naprosto spolehlivé výsledky. Je známo, že spolehlivost výsledků získaných odporovými tenzometry bude tím vyšší, čím lépe se podaří:

- zvolit typ tenzometru pro podmínky zkoušky součásti a zvolit jeho rozměry s ohledem na gradienty napjatosti v součásti tak, aby "zprůměrování" gradientu napjatosti tenzometrem v měřeném místě, zkreslilo naměřený výsledek co nejméně;
- umístit tenzometry na určená místa co nejpresněji;
- zajistit bezporuchový přenos signálu z tenzometrů do měřicího řetězce;

- zatěžovat součást způsobem, co nejbližším skutečnému pracovnímu zatížení, nejlépe přímo skutečným pracovním zatížením. Odporové tenzometry změří správné hodnoty deformací, jestliže.

1) Vrstva lepidla, která je spojuje s měřeným objektem, plně přenáší deformaci z měřeného objektu na tenzometr.

Prakticky to znamená, že tenzometr musí být přilepen po celé ploše, rovnoměrně silnou vrstvou lepidla, bez vzduchových bublin, vytvrzenou na maximální pevnost.

2) Způsobílost vrstvy lepidla přenášet deformaci z měřené části na tenzometr zůstane v průběhu celého měření stálá.

Praktický význam mají jen negativní změny přenosu deformace, které úměrně sníží výstupní signál tenzometru a způsobí naměření nižších hodnot deformací proti skutečným. Nejčastěji je zapříčiní poruchy v přilnavosti (adhezi) lepidlové vrstvy k měřenému objektu, méně často k tenzometru. Podstatně méně pravděpodobné je porušení soudržnosti (koheze) lepidlové vrstvy, trhlíčkami. Pozitivní změny, ve způsobílosti lepidlové vrstvy přenášet deformaci, vyvolané zvýšením pevnosti lepidla mechanickým namáháním, nepřevyšují u dobře vytvrzených vrstev, podle našich zkušeností hodnoty $\pm 1.5\%$, po 10^6 cyklech. Při běžných tenzometrických měřeních jsou zanedbatelné.

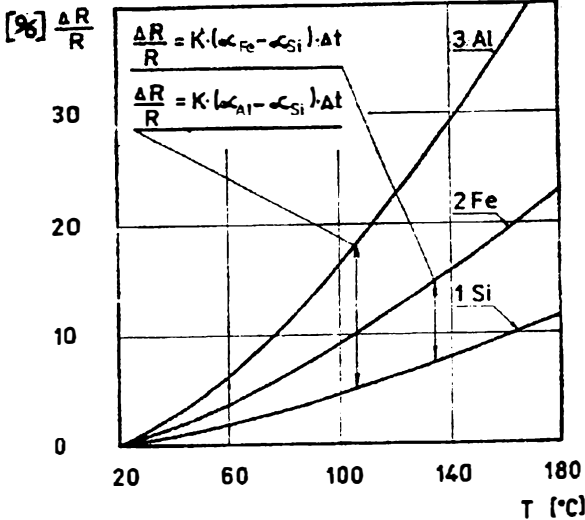
Na všechny životně důležité části instalují tenzometry vždy ti nejzkušenější. To minimalizuje chyby. Přes to, pravděpodobnost vzniku uvedených zdrojů chyb vzrůstá s členitostí a tvarovou složitostí měřených částí, která vyžaduje lepit tenzometry na zakřivená a špatně přístupná místa. Příkladem jsou radiální kola kompresorů turbovrtulových motorů.

Hlavní výhodou polovodičových tenzometrů pro experimentální analýzu napjatosti těchto životně důležitých částí je právě spolehlivá indikace případných změn přenosu deformace v průběhu měření. Tuto indikaci umožňují dvě specifické vlastnosti polovodiče, aktivní části tenzometru. Nízká teplotní roztažnost (součinitel roztažnosti křemíku je $4 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) a vysoká deformáční citlivost (součinitel je 120). Kvantitativní poměry znázorňuje ukazuje obr.1. Na svislé ose je procentická změna odporu tenzometru, na vodorovné ose je teplota ve $^\circ\text{C}$.

Křivka 1 Si je teplotní závislostí odporu nenalepeného křemíkového tenzometru AP120-3-12 (dodavá: Výroba tenzometrů a snímačů Zlín). Křivka 2 Fe je teplotní závislostí odporu tohoto tenzometru nalepeného na oceli a křivka 3 Al je teplotní

závislosti odporu téhož, nalepeného na hliníkové slitině.

Přírůstek poměrné změny odporu tenzometru, vzniklý nalepením tenzometru na ocel a hliníkovou slitinu vyjadřují rovnice v obr.1, kde: K - součinitel deformační citlivosti tenzometru;



Obr.1. Teplotní závislost odporu křemíkového tenzometru typu AP120-3-12 po nalepení na měřenou strojní část

žil odpor. Je-li po měření odpor tenzometru vyšší, než při stejné teplotě před měřením, zhoršil se přenos deformace na tenzometr, což snížilo tlakové předpětí tenzometru.

Podstatně přesnější informaci o hodnotách případných změn způsobilosti vrstvy lepidla přenášet deformaci poskytne změření teplotní závislosti odporu polovodičových tenzometrů před měřením deformací strojní části a po jeho skončení, za řízeného ohřevu. Teplotní závislost odporu křemíkových tenzometrů je dobře reprodukovatelná s přesností ± 0.1 ohmu, která u tenzometrů typu AP120 odpovídá nepřesnostem ± 8 mikrostrain.

Popsaný postup kontroly tenzometrů je využíván při měření kvazistatických namáhání na pevnostně nejexponovanějších částech turbovrtulových motorů M-601 a M-602, jako jsou radiální kola kompresorů, bubny axiálních kompresorů a disky turbin, rotující do 40.000 ot/min, při teplotách do 370°C. Přesnost těchto měření je lepší než $\pm 4\%$. Teplotu při měření kontrolujeme křemíkovými odporovými teploměry, rozměrově shodnými s tenzo-

() - rozdíl součinitelů teplotní roztažnosti materiálů (oceli a hliníkové slitiny) strojní části a polovodiče tenzometru (křemíku);

t - rozdíl teploty ve °C.

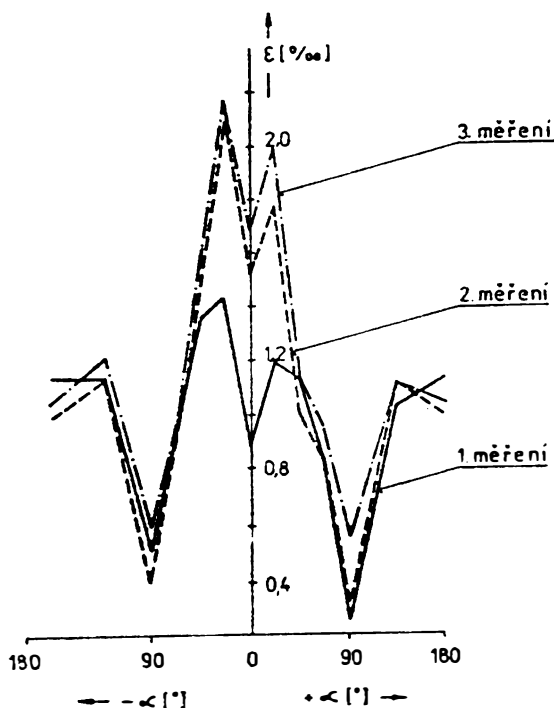
Jestliže byly polovodičové tenzometry na součást nalepeny lepidlem, vytvrzujícím při vyšší teplotě, získaly tlakové předpětí řádu

10^{-4} až 10^{-3} a úměr-

ně tomu se jím sni-

metry, umístěnými na stejných radiusech jako tenzometry.

Jeden z příkladů rozdílné spolehlivosti výsledků měření, uskutečněných drátkovými a polovodičovými tenzometry, je na



Obr.2. Rozdílné deformace změřené drátkovými a polovodičovými tenzometry na vrtulovém náboji /1/.

ření by umožnilo změřit podstatně přesněji lokální deformace v místech s gradienty napjatosti a vyloučilo by zcela pochybnosti o kvalitě nalepení tenzometrů.

Literatura

1/Sborník přednášek 27.konference EAN'89, s.120-125, Nitra 1987

obr.1/1/. Ukazuje rozdílné výsledky měření odporovými tenzometry, uskutečněné na náboji vrtule. 1.měření bylo uskutečněno tenzometry drátkovými v roce 1985. 2.měření bylo uskutečněno tenzometry polovodičovými v roce 1989 a změřené hodnoty vyvolaly skepsi. Proto bylo rozhodnuto uskutečnit 3.měření s novými křemíkovými tenzometry téhož typu. Rozdíly ukazuje obr.2. Do určité míry je zapříčinily i větší rozměry drátkových tenzometrů, jejich méně přesné umístění a způsob zatěžování náboje při 1.měření. Použití "polovodičů" již při 1.mě-

Ladislav HRUBANT, ing.; Karel KOZÁK;

AERONAUTICAL RESEARCH AND TEST INSTITUTE, CS-199 05, PRAHA 9

VÝZKUMNÝ A ZKUŠEBNÍ LETECKÝ ÚSTAV, 199 05 PRAHA 9

TELEFON 0042 2 6847836

;

FAX 0042 2 6835905