



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU

K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

226 211

(11) (B1)

(61)

(23) Výstavní priorita
(22) Přihlášeno 20 02 80
(21) PV 1180-80

(51) Int. Cl.³
G 01 N 3/18

(40) Zveřejněno 29 07 83
(45) Vydáno 01 02 86

(75)
Autor vynálezu

KOZÁK KAREL, SENOHRABY,
KUČERA JAROMÍR ing., ŮVALY,
HRUBANT LADISLAV ing., PRAHA

(54)

Způsob měření statického a dynamického namáhání
součástí a konstrukcí lepenými polovodičovými
tenzometry

Vynález se týká způsobu měření statického a dynamického namáhání součástí a konstrukcí lepenými polovodičovými tenzometry za vyšších teplot a řeší problém stanovení namáhání s vyšší přesností.

Výroba značně namáhaných součástí a konstrukcí, jakými jsou rotující části leteckých motorů, části vysokotlakých reaktorů a podobně, si vyžaduje stálé a účinné kontroly jejich pevnostních vlastností. Experimentální stanovení průběhů namáhání je obvykle jedinou vhodnou cestou, jak skutečné namáhání zjistit.

Postup experimentálního stanovení namáhání spočívá v tom, že na měřeném předmětu se upevní odporové tenzometry, načež se v modelovaných skutečných podmínkách zjišťuje průběh namáhání. Použije-li se ke stanovení drátkové nebo fóliové odporové tenzometry, pak chyba měření činí desítky procent naměřené hodnoty. Vzniklá chyba je důsledkem skutečnosti, že u připevněného tenzometru nelze zjistit jeho reálnou deformační citlivost a je nutné použít tabelovanou a důsledkem chyb v přenosové části měřicího řetězce, protože tyto tenzometry dávají jen malý výstupní signál. Při použití polovodičových odporových tenzometrů k řešení se omezí chyby v přenosové části měrného řetězce, protože polovodičové tenzometry mají vyšší deformační citlivost, přibudou zato chyby způsobené lepidlem, použitým k připevnění tenzometru na měřený předmět. Modul pružnosti aktivní části tenzometru je podstatně vyšší než modul použitého lepidla, takže deformace přenášená lepidlem z předmětu na tenzometr, je výrazně citlivá na tloušťku lepidla. Stanovení namáhání s polovodičovými tenzometry lze uskutečnit tak, že se použije hodnot deformační citlivosti udávaných výrobcem tenzometrů. Postup není příliš přesný, výroba tenzometrů se uskutečňuje v určitých tolerancích, navíc reálné zkušební podmínky se mohou dost lišit od atestů výrobce. Zlepšený postup stanovení namáhání spočívá v tom, že tenzometr se přilepí na zkušební nosník, načež se zatěžováním nosníku zjistí deformační citli-

vost pro daný druh tenzometru a lepidla. Očekávatelná vyšší přesnost měření se nedostavuje ve znatelné míře, a to v důsledku horší reprodukovatelnosti naměřených hodnot. Výsledná chyba je jen o málo menší než v předešlém případě. Příčina spočívá v tom, že u lepidel s vyšší konzistencí, jakými jsou především tenzometrická lepidla pro vyšší teploty, je prakticky nemožné dodržet stejnou sílu lepidla při standartizaci a při vlastním měření.

Nedostatečná přesnost známých způsobů měření vede ke konstrukčnímu předimenzování součástí a konstrukcí, spojenému nejen se zvýšenou spotřebou nákladných a úzkoprofilových materiálů, ale též ke sníženým technickým parametrům pro zvýšenou váhu.

Uvedené nedostatky zmenšuje způsob měření statického a dynamického namáhání součástí a konstrukcí lepenými polovodičovými tenzometry podle vynálezu, jehož podstata spočívá v tom, že měřený předmět s alespoň jedním nalepeným tenzometrem se ohřeje do oblasti počáteční pracovní teploty, načež se postupně ohřívá až do oblasti konečné pracovní teploty a současně se vyhodnocuje změna odporu tenzometru na teplotě, potom se měřený předmět podrobí měření v pracovních podmínkách a nalezená změna odporu tenzometru se koreluje se změnou odporu tenzometru zjištěnou při tepelném zatěžování.

Způsobem měření podle vynálezu se násobně zvyšuje přesnost nalezených hodnot, chyba při měření za vyšších teplot se pohybuje kolem 5%.

Podstatu vynálezu ozřejmují příklady provedení, na které se vynález nijak neomezuje.

Příklad 1

Kvasistatické namáhání v radiálním směru ve vzdálenosti poloviny poloměru disku turbíny ze žárupevné slitiny se stanovovalo v rozmezí od 20 000 otáček do 40 000 otáček za minutu a v intervalu pracovních teplot od 140 do 250 °C, přičemž teplota při jednotlivém měření byla stálá. Pro měření byl na disk přilepen univerzální typ polovodičového tenzometru z křemíku typu p- a aktivní částí orientovanou ve směru (1,1,1), s udávaným jmenovitým odporem 120 ohmů a součinitelem deformační citlivosti k rovném + 120. Aktivní část o délce 3 mm byla na disk nalepena epoxidovým lepidlem a vytvrzena při předepsané teplotě. Disk byl ohřát na spodní hranici teplotního intervalu, následně řízeně ohříván až do konce teplotního intervalu a deformace, vyvolaná rozdílem roztažnosti tenzometru a měřeného disku, byla registro-

vána na základě změny odporu. Následně byly porovnány rozdíly v odporu, registrované u nalepeného tenzometru a tabelované pro nenalepený tenzometr, a jim odpovídající hodnoty deformace.

Z obecného vztahu

$$k = \Delta R / \Delta \varepsilon$$

kde ΔR je poměrná změna odporu, $\Delta \varepsilon$ relativní deformace a k koeficient deformační citlivosti, byla vyšetřena skutečná hodnota koeficientu deformační citlivosti nalepeného měřicího tenzometru, a to buď průměrná pro celý sledovaný interval, nebo po krocích v intervalu. O volbě způsobu vyhodnocení rozhoduje úloha, tj. zda se zjišťuje úhrnná hodnota namáhání nebo jeho průběh. Následně bylo provedeno měření v podmínkách skutečného zatížení a z upřesněného, předem známého vztahu mezi ΔR a $\Delta \varepsilon$ byla stanovena hodnota namáhání. Popsaným způsobem bylo při měření možno docílit menší chybu než $\pm 5\%$.

Příklad 2

Stanovení namáhání disku v podmínkách příkladu 1 se uskutečnilo s tím rozdílem, že při skutečném zatížení byl na disku tepelný spád od okraje ke středu v rozmezí od 160° do 220°C . Na disk byly nalepeny těsně u sebe p-typ polovodičového tenzometru a n-typ polovodičového tenzometru, který měl podélnou osu aktivní části orientovanou ve směru (1,0,0), o jmenovitém odporu 120 ohmů, průměrným teplotním součinitelem elektrického odporu v mezích 160° až 220°C rovném $+1,2 \cdot 10^{-3} \text{ grad}^{-1}$ a se součinitelem deformační citlivosti - 122, čímž byla zajištěna samokompensace teplotního posuvu nulové hodnoty v daném teplotním rozmezí. Tenzometr typu p- byl shodný jako v příkladě 1. Následně se provedl ohřev disku do oblasti pracovních teplot, obdobně jak je uvedeno v příkladu 1, přičemž byla registrována teplem vyvozená změna odporu, a tím i deformace pouze u tenzometru p-typu, z ní vyhodnocen skutečný součinitel deformační citlivosti tenzometru p-typu a podle něj korigována hodnota součinitele deformační citlivosti samokompenzovaného tenzometru n-typu. Následně byl disk podroben skutečnému zatížení a z předem známých a upřesněných vztahů vyhodnocena hodnota namáhání. Chyba měření byla menší než udaná v příkladě 1.

Vynález je určen ke kontrole pevnostních vlastností mechanicky namáhaných součástí a konstrukcí při jejich výrobě a provozu.

1. Způsob měření statického a dynamického namáhání součástí a konstrukcí lepenými polovodičovými tenzometry, vyznačený tím, že měřený předmět s alespoň jedním nalepeným tenzometrem se ohřeje do oblasti počáteční pracovní teploty, načež se postupně ohřívá až do oblasti konečné pracovní teploty a současně se vyhodnocuje změna odporu tenzometru na teplotě, potom se měřený předmět podrobí měření v pracovních podmínkách a nalezená změna odporu tenzometru se koreluje se změnou odporu tenzometru, zjištěnou při tepelném zatěžování.
2. Způsob měření podle bodu 1, vyznačený tím, že měřený předmět s alespoň jedním nalepeným tenzometrem p-typu a alespoň jedním nalepeným tenzometrem n-typu se samokompenzací teplotního posunu nulové hodnoty, se ohřeje do oblasti pracovních teplot, přičemž se vyhodnocuje změna odporu tenzometru p-typu na teplotě a na jejím základě se koriguje změna odporu tenzometru n-typu.