



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

238001

(11)

(B1)

/22/ Přihlášeno 18 03 81
/21/ PV 1965-81

(40) Zveřejněno 14 03 85

(45) Vydáno 15 10 87

(51) Int. Cl.⁴

G 01 B 7/16,
G 01 M 5/00,
G 01 L 1/22

(75)

Autor vynálezu

HURYCH JINDŘICH ing., HRUBANT LADISLAV ing., PRAHA

(54) Způsob experimentálního určení namáhání konstrukční součásti

Vynález řeší problém požadované zvýšené přesnosti měření namáhání konstrukční součásti v jejích pracovních podmínkách pomocí na ní nalepených odporových tenzometrů, a to potlačení chyby, zanášené do měření silnější vrstvou lepidla, ovlivňujícího výslednou deformaci odporového tenzometru. Z odporových tenzometrů stejného typového označení se nalepí vždy alespoň jeden stejným lepidlem a stejnou technologií jednak na měřenou konstrukční součást a jednak na zkušební nosník, zhotovený ze stejného materiálu a stejnou technologií jako ona. V mechanicky nezatíženém stavu v rozsahu teplot předpokládaných pro pracovní podmínky konstrukční součásti se zjistí hodnoty odporu obou tenzometrů současně. Potom se zjistí hodnoty odporu tenzometrů současně. Potom se zjistí hodnoty odporu u tenzometru na zkušebním nosníku při jeho zatížení silami, předpokládanými pro uvedené pracovní podmínky. Z úměry hodnot odporů tenzometrů na zkušebním nosníku se pro jednotlivé teploty vypočte korekční faktor, který se ve spojení s hodnotami odporu tenzometru, zjištěnými na konstrukční součásti v jejích pracovních podmínkách, použije pro určení jejího namáhání.

Vynález se týká způsobu experimentálního určení namáhání konstrukční součásti v jejích pracovních podmínkách pomocí na ní nalepených odporových tenzometrů.

Vynález řeší problém požadované zvýšené přesnosti měření namáhání konstrukční součásti potlačení chyby, zanášené do měření silnější vrstvou lepidla, ovlivňujícího výslednou deformaci odporového tenzometru.

Přesná znalost namáhání konstrukčních součástí je nezbytná jak pro určení jejich spolehlivosti a bezpečné životnosti, tak i pro optimální využití konstrukčních materiálů.

U dosud známých způsobů měření namáhání konstrukčních součástí pomocí odporových tenzometrů jsou výsledky měření ovlivněny nepřesnostmi, způsobenými vlastnostmi lepidlových vrstev, spojujících odporové tenzometry s měřenými konstrukčními součástmi.

Příčinou těchto nepřesností je nízký modul pružnosti materiálů lepidlových vrstev, který je řádově nižší, než je modul pružnosti kovových materiálů i polovodičů odporových tenzometrů, a dále jejich značná teplotní roztažnost, která je několikanásobně až řádově vyšší, než je teplotní roztažnost kovových materiálů.

Hodnota deformační citlivosti, udávaná u všech typů odporových tenzometrů výrobcem, se vždy vztahuje k tomu typu lepidla, s kterým byla měřena. Při použití jiného typu lepidla, například pro měření za zvýšených teplot, které svou vyšší konzistencí vytváří tlustší lepidlovou vrstvu, se deformační citlivost téhož typu odporového tenzometru zřetelně odlišuje, i když její tolerance pro tento jiný typ lepidla je také úzká, což svědčí o dobré reprodukovatelnosti vlastního tenzometrického principu měření.

Uvedené rozdíly deformační citlivosti nalepených odporových tenzometrů je možné dobře sledovat pomocí křemíkových odporových tenzometrů, které mají vysokou deformační citlivost a velmi malý součinitel teplotní roztažnosti, rovnající se $4 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ za pokojových teplot.

Známy způsob určení deformační citlivosti křemíkového odporového tenzometru po jeho nalepení na konstrukční součást užívá rozdíl teplotní roztažnosti křemíku a materiálu konstrukční součásti k vyvolání přesných deformací odporového tenzometru řízeným ohřevem, při nichž se zjišťují hodnoty jeho odporu. Tím se podstatně zvýšila přesnost měření namáhání, pokud lepidlová vrstva nepřesáhla tloušťku 0,03 mm.

Nevýhodou uvedeného způsobu měření je nepřesnost, způsobená rozdílnými tloušťkami lepidlových vrstev, ať již v důsledku vyšší konzistence lepidla, nebo ovlivněná zručností pracovníka, neboť rozdíl v tloušťce lepidlové vrstvy o 0,03 mm způsobuje vlivem nízkého modulu pružnosti lepidlové vrstvy rozdíl deformační citlivosti o 2 až 4 %.

Uvedené nevýhody odstraňuje způsob experimentálního určení namáhání konstrukční součásti podle vynálezu. Podstata vynálezu spočívá v tom, že se z odporových tenzometrů stejného typového označení nalepí vždy alespoň jeden odporový tenzometr stejným lepidlem a stejnou technologií jednak na zkušební nosník a jednak na konstrukční součást, přičemž zkušební nosník je zhotoven ze stejného materiálu a zpracován stejnou technologií jako konstrukční součást.

Potom se nejprve u odporového tenzometru na zkušebním nosníku zjistí hodnoty jeho odporu, jednak způsobené v mechanicky nezatíženém stavu teplotními deformacemi v rozsahu teplot, předpokládaných pro pracovní podmínky konstrukční součásti, a jednak způsobené deformacemi při zatížení silami, předpokládanými pro pracovní podmínky konstrukční součásti, a potom se u odporového tenzometru na konstrukční součásti zjistí hodnoty jeho odporu, jednak způsobené v mechanicky nezatíženém stavu teplotními deformacemi v rozsahu teplot, předpokládaných pro její pracovní podmínky, a jednak způsobené celkovými deformacemi v jejích skutečných pracovních podmínkách.

Hodnoty odporů odporových tenzometrů, způsobené u zkušebního nosníku a u konstrukční

Hodnoty odporů odporových tenzometrů, způsobené u zkušební nosníku a u konstrukční součásti teplotními deformacemi v rozsahu teplot, předpokládaných pro pracovní podmínky, se zjistí při společném řízeném ohřevu zkušební nosníku a konstrukční součásti.

Způsob podle vynálezu zvyšuje přesnost výsledků měření namáhání konstrukčních součástí zejména při měření namáhání polovodičovými odporovými tenzometry za různých teplot. Principiálně je tento způsob použitelný i pro zvýšení přesnosti měření s kovovými odporovými tenzometry.

Způsob podle vynálezu bude dále popsán s přihlédnutím k dvěma skutečným příkladům jeho provedení.

P ř í k l a d 1

Měření namáhání konstrukční součásti, představované bubnem kompresoru leteckého motoru, zhotoveným z konstrukční oceli a rotujícím do 40 000 1/min při teplotách od 40 do 250 °C se soustředným teplotním gradientem.

Použity jsou křemíkové odporové tenzometry bez podložky se součinitelem deformační citlivosti + 120, a s délkou aktivní části 3 mm, které se nalepí viskózním epoxidovým lepidlem, vhodným pro práci za teploty do 250 °C, na zkušební nosník a na buben kompresoru.

Před nalepením všech odporových tenzometrů je výhodné experimentálně zjistit závislost jejich odporu na teploty do 250 °C. Po nalepení se v těsné blízkosti odporových tenzometrů na zkušební nosník a na buben kompresoru přivaří termočlánky, umožňující snímání pracovní teploty odporových tenzometrů. Při napájení odporových tenzometrů ze zdroje konstantního proudu je napětí na jejich vývodech úměrné jejich odporu.

V odporových tenzometrech TZN na zkušebním nosníku se vyvodí přesná deformace působením síly na zkušební nosník až do hodnot relativních deformací, předpokládaných pro měření bubnu kompresoru za rotace, například $= 2,5 \cdot 10^{-3}$, a to při několika teplotách v rozmezí pracovních teplot bubnu kompresoru.

Ze zjištěných odporových změn a známých hodnot deformací se určí deformační citlivost DCN odporového tenzometru TZN na zkušebním nosníku pro jednotlivé pracovní teploty. Potom se v odporových tenzometrech TZN na zkušebním nosníku a v odporových tenzometrech TKS na konstrukční součásti, to je na bubnu kompresoru, vyvodí přesná teplotní deformace řízeným ohřevem, s výhodou pro odporové tenzometry TZN a TKS současně.

Z hodnot odporů odporových tenzometrů TZN i TKS se při několika teplotách v oblasti do 250 °C určí teplotní citlivost TCN odporového tenzometru TZN na zkušebním nosníku a teplotní citlivost TCS odporového tenzometru TKS na konstrukční součásti, to jest na bubnu kompresoru.

Z poměru $DCN : TCN = A$ se pro jednotlivé teploty vypočte korekční faktor A, který se použije k určení skutečné deformační citlivosti DCS odporového tenzometru TKS na konstrukční součásti, to je na bubnu kompresoru, podle vztahu $DCS = A \cdot TCS$.

Z tohoto vztahu se potom určí namáhání v příslušném místě bubnu kompresoru.

P ř í k l a d 2

Měření namáhání konstrukční součásti za teploty kolem 25 °C, kovové odporové tenzometry, libovolná tenzometrická aparatura. Na měřená místa konstrukční součásti a na zkušební nosník, vyrobený z téhož materiálu a zpracovaný stejnou technologií, se nalepí stejným lepidlem a stejnou technologií alespoň po jednom kovovém, například drátkovém, odporovém tenzometru TZN na zkušební nosník a po jednom kovovém, například drátkovém, odporovém tenzometru TKS

na konstrukční součást. Zkušební nosník se zatíží silou, která vyvolá v odporovém tenzometru TZN na zkušebním nosníku deformaci ϵ stejnou, jaká je očekávána na měřené zkoušené součásti, například $\epsilon = 1 \cdot 10^{-3}$, a z rozdílu hodnot výstupních signálů se zjistí deformační citlivost DCN odporového tenzometru TZN na zkušebním nosníku pro uvedenou deformaci ϵ .

Použije-li se více odporových tenzometrů TZN na zkušebním nosníku, lze určit i nepřesnost měření. Potom se zkušební nosník a konstrukční součást podrobí, a to s výhodou současně, řízenému ohřevu na 20 °C a na 30 °C, případně též na 25 °C a na 35 °C, a zjistí se teplotní citlivost TCN odporového tenzometru TZN na zkušebním nosníku a teplotní citlivost TCS odporového tenzometru TKS na konstrukční součásti.

Z údaje odporového tenzometru TZN na zkušebním nosníku se vypočítá korekční faktor A podle vztahu $A = DCN : TCN$ a pomocí tohoto korekčního faktoru A se určí skutečná deformační citlivost DCS odporového tenzometru TKS na konstrukční součásti podle vztahu $DCS = A \cdot TCS$.

Kolísá-li teplota při jednotlivých měřeních deformace __ konstrukční součásti, lze údaje jednotlivých odporových tenzometrů TKS korigovat na teplotu podle údaje teplotní citlivosti TCS odporového tenzometru TKS na konstrukční součásti.

Využití způsobu podle vynálezu je zvláště výhodné u analyticky těžko řešitelných tvarů, například u disků kompresorů a turbín, u lopatek, hřídelů a skříní rotačních strojů, u součástí pístových motorů, u draků letadel a u dalších nejrůznějších součástek strojírenských zařízení.

Způsob lze použít pro průkazné stanovení statických, dynamických i teplotních deformací a tedy i namáhání součástí za provozu strojů, k určení zatěžovacích parametrů, případně k ověření nebo zpřesnění výpočtových metod namáhání.

P R E D M Ě T V Y N Á L E Z U

1. Způsob experimentálního určení namáhání konstrukční součásti v jejích pracovních podmínkách pomocí na ní nalepených odporových tenzometrů, vyznačený tím, že se z odporových tenzometrů stejného typového označení nalepí vždy alespoň jeden odporový tenzometr stejným lepidlem a stejnou technologií jednak na zkušební nosník a jednak na konstrukční součást, přičemž zkušební nosník je zhotoven ze stejného materiálu a zpracován stejnou technologií jako konstrukční součást, načež se nejprve u odporového tenzometru na zkušebním nosníku zjistí hodnoty jeho odporu, jednak způsobené v mechanicky nezatíženém stavu teplotními deformacemi v rozsahu teplot, předpokládaných pro pracovní podmínky konstrukční součásti, a jednak způsobené deformacemi při zatížení silami, předpokládanými pro pracovní podmínky konstrukční součásti, a potom se u odporového tenzometru na konstrukční součásti zjistí hodnoty jeho odporu, jednak způsobené v mechanicky nezatíženém stavu teplotními deformacemi v rozsahu teplot, předpokládaných pro její pracovní podmínky, a jednak způsobené celkovými deformacemi v jejích skutečných pracovních podmínkách, a závěrem se po dosazení úměry hodnot odporů, zjištěných pro srovnatelné podmínky u zkušebního nosníku, do úměry hodnot odporů, platné pro konstrukční součást v jejích pracovních podmínkách, určí namáhání konstrukční součásti.

2. Způsob podle bodu 1, vyznačený tím, že se hodnoty odporů odporových tenzometrů, způsobené u zkušebního nosníku a u konstrukční součásti teplotními deformacemi v rozsahu teplot, předpokládaných pro pracovní podmínky, zjistí při společném řízeném ohřevu zkušebního nosníku a konstrukční součásti.