

¹В.П. Квасніков, д.т.н.,
²Т.І. Гансва

СПОСОБИ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ РУХОМИХ ЧАСТИН ТЕНЗОМЕТРИЧНИМИ ДАТЧИКАМИ

¹Національний авіаційний університет, м. Київ, e-mail: kvp@nau.edu.ua

²Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса,
e-mail: oc.odivt-taisiia@mail.ru

У статті розглянуто питання створення засоби і методики випробувань для аналізу деформаційного поведінки модельної конструкції при варіюваних по імпульсу сили ударних тестових впливах, а також розробки алгоритму і критеріїв розрізнення станів непошкоджених конструкцій.

Ключові слова: тензометричний датчик, деформація, випробувальний стенд

Вступ

При дослідженні деформації рухомих частин необхідно розробка випробувальних стендів, які дозволяють по трьох координатах в реальному масштабі часу отримувати інформацію про зміну стану складної конструкції.

Показано, що при визначенні складної конструкції як механічного об'єкту, при збурюванні якого виникають нестійкі стани, і це приводить до нелінійних деформаційних процесів. При цьому в якості нелінійних розглянуто знакомінні деформаційні процеси, а також біфуркації у вигляді «ударів» і «перескоків» у стійкому стані конструкції. Установлено критерії розрізнення станів складної конструкції засноване на експериментальних і теоретичних дослідженнях її поведінки й відгуків на природні й (або) спеціальні впливи. Можна стверджувати, що виявлення й опис ефектів втрати стійких станів у неушкодженій конструкції і є основою для її ранньої діагностики.

Викладення основного матеріалу

Більшість конструкцій будують з елементів, які в технічній механіці в одновірному і двовірному уявленні визначаються як стрижень, трикутна, кругла й квадратна рами. На відміну від діагностування ушкоджених конструкцій і їх елементів по формах спектрів власних коливань при аналізі стійкості цільної неушкодженої конструкції проявляється неузгодженість при відповіді на наступні питання: яка поведінка зв'язаних елементів, до яких меж зберігається «колективна стійкість» або стійкість за рахунок конструкційних зв'язків, як урахувати результати міцності й ресурсу різномірних елементів або окремо взятих випробувань із ними для прийняття розв'язків про стійкість (ресурс) конструкції в цілому.

Для дослідження деформації й оцінки стійкості конструкцій створено випробувальний стенд, що складається з фізичної моделі конструкції; системи тензометричних датчиків деформації; інформаційно-вимірювального каналу.

Блок-структурна схема інформаційно-вимірювального каналу наведена на рис. 1. Деформаційні коливання $\sigma(t)$ конструкції, реєстровані в місці установки датчиками деформації як зміна заряду в часі $q(t)$, через вібростійкий кабель подавалися на вхід підсилювача заряду. З виходу підсилювача змінюється в часі напругу $U(t)$ надходило на перший канал цифрового осцилографа на базі персонального комп'ютера. [1]

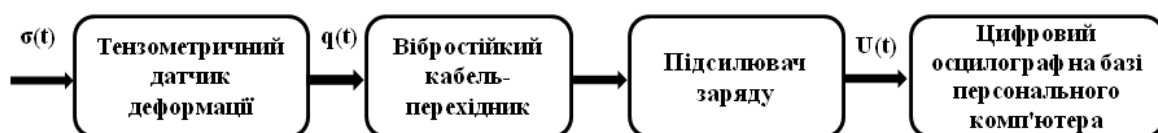


Рис. 1. Блок-структурна схема інформаційно-вимірювального каналу

Всі тензодатчики побудовані на основі п'єзорезистивного ефекту

$$\frac{dR}{R} = S_e \varepsilon, \quad (1)$$

де S_e - коефіцієнт тензочутливості матеріалу

Для більшості матеріалів цей коефіцієнт має позитивне значення, що відповідає росту величини опору при збільшенні деформації, тобто розтягання збільшує значення опору, а стиск, навпаки, зменшує його.

Запропоновано використовувати «тензометричний датчик деформації, або тензорезистор», який використовується для елемента. Він приклеюється на поверхню об'єкту і при цьому опір змінюється при деформації його.

Тензорезистор складається з відрізка проводу, зігнутого у формі серпантину й змонтованого на підходящому матеріалі підложки. Він має тензометричний коефіцієнт тензочутливості близько 2. Тензорезистор виконаний у формі серпантину, який витравлюється з металевої фольги.

Напівпровідниковий тензорезистор являє собою смужку кремнію з невеликою кількістю речовини p - або n -типу і має тензометричний коефіцієнт у діапазоні p - типу — 100... 175, а n -типу — -100...-140. Негативне значення тензометричного коефіцієнта вказує на той факт, що величина опору датчика буде зменшуватися зі збільшенням деформації. Опір тензометричних датчиків деформації змінюється не тільки при зміні самої деформації, але й зі зміною температури.

При невеликих змінах опору металевого дроту, що не перевищують 2%, що справедливо для більшості випадків, описано наступним співвідношенням

$$R = R_0 (1 + x), \quad (2)$$

де R_0 - опір тензодатчика в невантаженому стані, а $x = S_e \varepsilon$. Для напівпровідникових матеріалів величина тензочутливості залежить від концентрації легуючих компонентів. Величина опору зменшується при стисненні і збільшується при розтягуванні. Резистивний тензодатчик представляє собою підставу із закріпленням на ньому резистивним елементом.

Під дією сили підстава із закріпленням елементом змінює свої розміри (стискається або розтягується), отже, резистивний елемент також змінює свій опір. Ймовірно, тензодатчик є найбільш відомим перетворювачем сили в електричну величину. [2]

Можливе використання тензодатчика, який не наклеюється складається з дротика, натягнутої між двома стійками. Сила, впливаючи на дротик (площею перетину = A , довжиною = L , з питомим опором = ρ), викличе подовження або стиснення останньої, що призведе до пропорційного збільшення або зменшення її опору

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A}, \quad (3)$$

$$\frac{dR}{R} = GF \frac{\Delta L}{L}, \quad (4)$$

де GF характеризує тензочутливість.

Безрозмірна величина $\Delta L/L$ є мірою сили, прикладеної до дротику, і виражається в мікрострейнах ($1 \mu\varepsilon = 10^{-6}$ см/см), що є тим же самим, що і мільйонна частина (ppm). З рівності випливає, що чим більше тензочутливість, тим більше величина зміни опору і, отже, вище чутливість датчика.

Фольгові чутливі елементи мають велике відношення площі поверхні до площі поперечного перерізу (чутливість) і стабільніші при критичних температурах і тривалих навантаженнях і забезпечують хороший температурний контакт чутливого елемента із зразком, що зменшує саморозігрів датчика.

Запропоновано використовують напівпровідникові тензодатчики - п'єзорезистивний ефект, що виникає в деяких напівпровідникових матеріалах, таких як кремній і германій, і використовуються для отримання більшої чутливості пристрою і його вихідного сигналу.

Напівпровідникові тензомости володіють в 30 разів більшою чутливістю ніж

металофольгові, але вони залежать від температури і важко піддаються компенсації. Зміна їх опору від деформації також нелінійна. Для прецизійних вимірювань їх не використовують настільки ж широко, як більш стабільні металофольгові; однак, в додатках, де варіації температури малі, а величина чутливості важлива, вони можуть мати певні переваги. Застосовуваний інструментарій подібній апаратурі металофольгових датчиків, тільки менш критичний при виборі, що визначається великими рівнями сигналів і меншою точністю перетворювачів.

Встановлено, що при використанні напівпровідникових тензодатчиків можна збільшити значення тензочутливості до 150. У напівпровідникових тензодатчиків є наступні переваги: чутливі елементи легко можуть бути сконструйовані для певних застосувань так, щоб забезпечити максимальну чутливість; нескладно зробити підгонку чутливих елементів, необхідну для вимірювань за мостовою схемою; просто вирішуються завдання мініатюризації; можна організувати масове виробництво на базі кремнієвої технології; використовуючи легування, можна отримати пристрої на основі кремнію p - і n -типів, що мають протилежні знаки тензоефекту. Також варто відзначити, що різні кристалграфічні орієнтації володіють різним за величиною тензоефектом. [34]

Схема повного моста (рис.2), за аналогією з полумостовою схемою, може працювати з двома активними і двома пасивними тензорезисторами або з чотирма активними тензорезисторами, з яких два сприймають деформацію розтягування, а два деформацію стиснення.

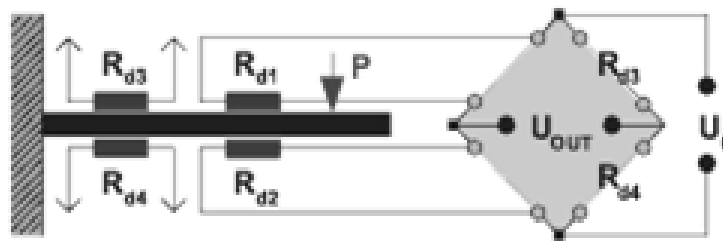


Рис. 2. Схема повного моста

Висновки

З викладеного можна зробити наступні висновки. Створена випробувальна установка в складі складної конструкції, системи датчиків деформації та інформаційно-вимірювального каналу, на якій отримані фур'є-образи деформації моделі конструкції. У діапазоні 0-100 Гц спектра деформаційних коливань виділені області високої добротності, дисипації і втрати стійкості. На підставі повторюваності і незмінності частот при різних алгоритмах обробки відгуків можна зробити висновок про реєстрацію ряду власних резонансних частот модельної конструкції. Дослідження, проведені на фізичній моделі, демонструють можливість спектрального аналізу конструкцій за допомогою датчиків динамічної деформації та ефективної реалізації способу ударного збудження. Надалі шляхом моделювання і розрізнення напружено-деформованих станів модельної конструкції передбачається вивчити зміни спектральних відгуків у виявлених трьох областях фур'є-образів.

Список літературних джерел

1. Ramon Pallas-Areny, John G. Webster, Sensors and Signal Conditioning John Wiley, New York, 1991.
2. Есипов Ю. В., Акопьян В. А., Рожков Е. В. // Измерительная техника. — 2008. — № 3. — С. 31.
3. Ильинская Л. С., Подмарьков А. Н. Полупроводниковые тензодатчики. // Библиотека по автоматике. -М.-Л. изд-во «Энергия». 1966. Вып. 189.
4. Томпсон Дж. М.Т. Неустойчивости и катастрофы в науке и технике/Пер. с англ. - М.: Мир, 1985.