

МЕТОДИКА ВИМІРЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ПІД ЧАС ЗМІННИХ ТЕМПЕРАТУР І НАВАНТАЖЕНЬ

Й.Й. Лучко, д.т.н.

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна, м.Львів

Вибір та наукове обґрунтування давачів для одночасного вимірювання деформації і температури. При визначенні складного напружено-деформованого стану (НДС) об'єкта необхідно здійснювати вимірювання лінійної деформації в кількох напрямках в околі точки його поверхні, в якій прагнуть встановити НДС. Зміна опору чутливого елемента є основним інформативним параметром за яким можна дізнатись про величину вимірювального тиску [1,2].

Використовуючи результати таких вимірювань, розраховують компоненти тензора деформації в цій точці поверхні [3,4]. Якщо об'єкт перебуває у неоднорідному НДС, то такі вимірювання проводять у певній множині точок поверхні об'єкта, які вибирають так, щоб на основі отриманих результатів відтворити з необхідною точністю картину розподілу компонент деформації об'єкту в цілому. Огляд багатofункціональних давачів наведено також у [5,6,7,8].

Для вимірювання лінійної деформації здебільш використовують метод електротензометрії, який має цілу низку переваг у порівнянні з іншими, зокрема, механічними методами. Це — простота встановлення первинних перетворювачів деформації — тензорезисторів (ТР) на поверхні об'єкту та відбору від них даних, можливість перетворень вимірювальних сигналів і автоматизації процесу вимірювань, оскільки вимірюванню підлягають електричні параметри - опір, струм чи напруга, здатністю тензорезисторів надійно функціонувати в широкому температурному діапазоні, за наявності перепадів температури та вібрації тощо [3,4].

Елементи мостових споруд в процесі їх експлуатації піддаються деформаціям стиску-розтягу, згинання, скруту, нагріванню та охолодженню, дії вібраційних навантажень. Тому для створення систем моніторингу НДС таких конструкцій доцільно використовувати саме тензорезистори як вимірювальні перетворювачі деформації.

Залежно від типу чутливого елемента розрізняють дротяні, фольгові та напівпровідникові тензорезистори. Напівпровідникові тензорезистори мають чутливість, що десятки і сотні разів перевищує чутливість інших типів, вони забезпечують високі рівні вихідного сигналу [3]. Відомі, наприклад, кремнієві (Si) тензорезистори. чутливий елемент яких виготовляють шляхом розрізання монокристалу з наступним хімічним травленням поверхні з метою усунення механічних пошкоджень. База таких тензорезисторів може змінюватися від 1.4 мм до 6.4 мм,

Високі метрологічні та експлуатаційні властивості мають напівпровідникові тензорезистори на основі ніткоподібних (НК) кристалів

[4]. Для їх виготовлення використовують НК кремнію, твердого розчину германій-кремній Ge-Si, телуру (Te), арсеніду галію (GaAs) та інших напівпровідників. Для вирощування цих кристалів розроблена технологія хімічних газотранспортних реакцій в закритій ампулі [2], яка дозволяє отримувати НК досконалої форми з поперечними розмірами від 0.01 до 1 мм та довжиною від 1 до 20 мм. Ця технологія дозволяє здійснювати легування кристалів в процесі їх вирощування різними домішками, змінюючи в такий спосіб їх електричні властивості питомий електричний опір, температурний коефіцієнт опору (ТКО), коефіцієнт тензочутливості (КТ). Завдяки цьому вдається достатньо легко керувати метрологічними характеристиками тензорезисторів, які створюють на основі цих НК.

НК мають досконалу кристалічну структуру. Завдяки цьому і малим поперечним розмірам вони мають величезну механічну міцність. Проведені дослідження показали [4], що міцність НК на розтяг може сягати 90% теоретичної міцності кристалу. При цьому руйнування відбувається за крихким механізмом, тобто аж до напруження руйнування НК деформується пружно. Завдяки цьому створені на їх основі тензорезистори можна використовувати для вимірювання деформації в широкому діапазоні (до 0.5% і більше).

Процес виготовлення НК-тензорезисторів складається з наступних етапів.

1. Вирощування партії НК необхідних розмірів з заданими електричними властивостями за відомою технологією хімічних газотранспортних реакцій [4]. Однієї партії вирощених кристалів достатньо для створення порядку тисячі-двох чутливих елементів (ЧЕ) тензорезисторів.

2. Відбір кристалів за їх поперечними розмірами і їх механічне або лазерне скрайбування (розколювання) на елементи потрібної довжини. Довжину L елемента для виготовлення НК-тензорезистора вибирають на 20% більшою за необхідну довжину / активної бази.

3. Приєднання електричних контактів і струмових виводів до НК, призначених для введення струму живлення в ЧЕ і відбору сигналу. Відомі технології створення омичних контактів до НК різних напівпровідників. Вони базуються на приварюванні золотого мікродроту діаметром 1...5 мкм до НК і припаюванні до нього дротяних мідних струмовиводів [4].

Застосування напівпровідникових тензорезисторів на основі НК має низку переваг у порівнянні з тензорезисторами, виготовленими шляхом випилювання із масивних монокристалів кремнію. Це:

- менший розмір бази (0,5 мм і менше), завдяки чому вимірювання можна проводити в значно меншій області поверхні, що важливо у випадку неоднорідного НДС;
- значно менше відношення ширини ЧЕ до його довжини (порядку $5 \cdot 10^{-3}$, що дозволяє істотно зменшити вплив поперечної компоненти деформації на вихідний сигнал давача і відтак підвищити точність вимірювання деформації.

• ширший діапазон вимірювання деформації завдяки вищій міцності НК;

- вища механічна стійкість до знакозмінних деформацій, термоцилювання, вібраційних навантажень, що досягається завдяки вищій структурній досконалості НК.

Тому для створення системи моніторингу НДС мостових конструкцій та конструкцій будівель і споруд тривалої експлуатації доцільно використовувати в якості давачів лінійної деформації напівпровідникові тензорезистори, виготовлені із НК кремнію.

Слід підкреслити, що номінальний опір і коефіцієнт тензочутливості напівпровідникових тензорезисторів істотно змінюється зі зміною температури. Це необхідно враховувати при створенні методики вимірювання НДС елементів мостових конструкцій при змінних навантаженнях і температурах. Крім того вимірювання деформації недостатньо, щоб визначити НДС об'єкту за умов, коли змінюються і прикладені напруження і температура.

Далі розглянемо принцип визначення НДС елементів мостових конструкцій при змінних навантаженнях і температурах, який полягає в одночасному вимірюванні деформації об'єкта і його температури. Розроблений підхід дозволяє однозначно визначити НДС у достатньо малому okolí будь-якої точки на поверхні об'єкта. Він базується на залежності опору ЧЕ, виготовлених із напівпровідникових НК, від температури і деформації. Розроблена конструкція багатоелементного комплексного давача з чутливими елементами на основі НК.

Розроблення конструкції комплексного давача для одночасного вимірювання деформації і температури. Отже, для методики вимірювання НДС елементів мостових конструкцій при змінних навантаженнях і температурах і для реалізації якої необхідно розробити конструкцію комплексного давача (рис.1) та давача-компенсатора (рис.2).

До складу багатоелементного давача для комплексних вимірювань входять: вимірювальні НК-тензорезистори 1, що мають три контакти і струмовиводи, давач-компенсатор 2, дві електроподільчі колодки 3 захисний кожух 4.

Вимірювальні НК-тензорезистори 1 мають удвічі довшу базу, їх встановлено на поверхні об'єкта вимірювання шляхом підклеювання лише однієї половини ЧЕ згідно зі схемою рис 1. Поздовжні осі цих тензорезисторів орієнтовані вздовж трьох неколінеарних напрямків. При цьому приклеєна частина кожного тензорезистора сприймає від об'єкта лінійну деформацію у відповідному напрямку. Струмовиводи вимірювальних тензорезисторів припаяно до контактних площинок електророзподільчих колодок. Через ці колодки кожен вимірювальний тензорезистор під'єднано в мостову електричну схему, так, що приклеєна і не приклеєна частини утворюють суміжні плечі моста.

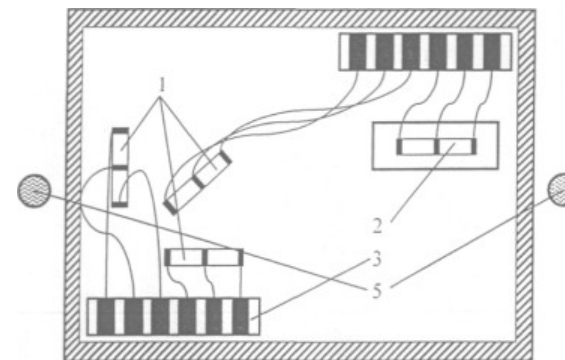


Рис.1. Схема конструкції комплексного давача.

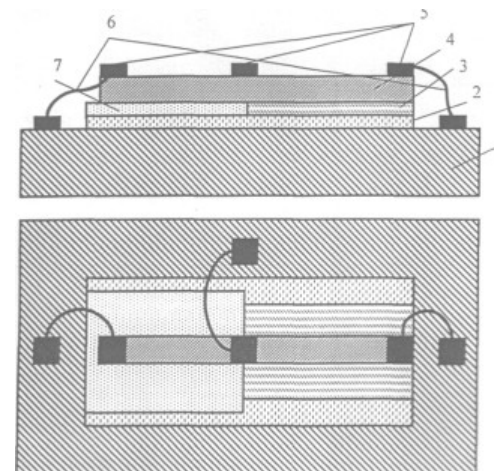


Рис.2. Схема конструкції давача-компенсатора.

Захисний кожух 4 фіксують на поверхні об'єкта за допомогою двох магнітів, які впресовані в корпус кожуха.

Давач-компенсатор встановлено на поверхні об'єкта вимірювання шляхом підклеювання його підкладки за допомогою вузької смужки клею вздовж одного з країв підкладки. При цьому деформація не передається від об'єкта до ЧЕ через підкладку. Три струмовиводи давача-компенсатора підпаяні до контактних площинок електророзподільчої колодки, через ці площинки давач-компенсатор під'єднують до вимірювальної схеми.

Конструкція давача-компенсатора складається із підкладки 1, виготовленої із матеріалу, також як і об'єкт вимірювання. Товщина підкладки

у 5...10 разів перевищує товщину НК, з якого виготовлено ЧЕ. До поверхні ЧЕ у відповідних місцях приварено три контакти 5 із золотого мікродроду.

ЧЕ встановлюють на поверхні підкладки в такий спосіб. Спочатку на поверхню об'єкта наносять тонких прошарок клею 2 (так званий шар-підстилка). Розміри його в плані перевищують розміри ЧЕ в поздовжньому напрямку у два рази в поперечному - у 6...10 разів. Після затвердження прошарку 1 на нього наносять клеєвий прошарок 3, розмір якого в поздовжньому напрямку удвічі менший за розмір прошарку 1, а в поперечному їх розміри однакові. На прошарок 1 встик з прошарком 2 накладають нову електроізоляційну плівку 7, наприклад фторопластову. Поверх цього накладають ЧЕ з привареними контактами, так, щоб розташувати середній контакт навпроти межі між проміжком і ізоляційною плівкою. Після затвердження клею, половина ЧЕ, що контактує з прошарком 3, отримає жорсткий зв'язок з поверхнею підкладки через прошарки 2 та 3, а інша частина залишиться вільною (непідклеєною).

Висновок. Виконано вибір та наукове обґрунтування давачів для вимірювання деформації і температури у конструкціях транспортних споруд. Розроблено конструкцію комплексного давача для вимірювання напружено-деформованого стану і температури у елементах мостових конструкцій. Встановлено переваги даного давача у порівнянні з іншими тензорезисторами.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Звіт по темі „Розробити рекомендації із вимірювання характеристик напружено-деформованого стану елементів мостів при змінних температурах”. ДерждорНДІ, 2007. –62с.
2. М.Р.В. 2.3 – 218 – 03450778 – 6843:2007. Методичні рекомендації з вимірювання характеристик напружено-деформованого стану елементів моста при змінних температурах / Й.Й.Лучко (керівник), Н.О.Гембара, В.В.Дяків, Р.Я.Пелех. Київ: ДерждорНДІ, 2007. – 18с.
3. Ах. 1329334 СССР. Кл G01 K 7/00 Полупроводниковый датчик температуры/ И.Д.Гортинская, С.С.Варшава. - Опубл. Бюл.№29.
4. А.с. 1698854 СССР. Кл G01 R 33/05. Датчик для измерения слабых магнитных полей/ А.А.Андарало, И.И.Васильев, В.И.Прошин, В.А.Ярмоленко. - Опубл. Бюл. №46.
5. Лучко Й.Й., Коваль П.М., Дем'ян М.Л. Методи дослідження та випробування будівельних матеріалів і конструкцій. Львів: Каменяр, 2001. –436с.
6. Байцар Р.І., Варшава С.С. Напівпровідникові мікросенсори. —Львів: Видавництво ЛвЦНТЕІ, 2001.– 290с.
7. Чекурін В.Ф., Дем'ян М.Л., Лучко Й.Й. Передавальні характеристики пружного елемента для моніторингу трубопроводу./ Зб. наук. пр. Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів і конструкцій. Львів: Каменяр.2002. –Вип.5.–С.400–405.
8. Тензометрия в машиностроении, Справочное пособие. Под ред. Р.А. Макарова. М.: Машиностроение, 1975. – 288с.

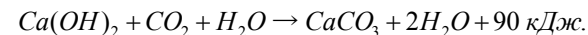
УДК: 666.9: 691.511: 691.316

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФАКТОРА НА ПРОЦЕСС КАРБОНИЗАЦИИ ИЗВЕСТКОВОГО ТЕСТА

*Н.В. Любомирский, к.т.н., доцент, Т.А. Локтионова, аспирантка,
А.С. Бахтин, аспирант*

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства,
г. Симферополь*

Карбонизация извести описывается следующим общим химическим уравнением:



По данным большинства источников [1, 2] реакция карбонизации идет на поверхности известкового теста, и почти не проходит внутри материала. Углекислый газ не проникает вглубь частично из-за образования пленки $CaCO_3$, обладающей низкой проницаемостью, частично из-за воды, находящейся в тесте или образующейся в ходе реакции.

Несмотря на данные утверждения в 40–50-х гг. XX ст. была разработана и осуществлена в заводских условиях технология получения искусственно карбонизированных известковых изделий, обладающих высокой прочностью и влагостойкостью [3]. Исследователями было установлено, что процесс карбонизации больше всего зависит от влажности известкового теста. Известь в изделиях с повышенным содержанием воды, внесенной при формовке, а также изделиях высушенных до постоянного веса, в реакцию с углекислым газом практически не вступает. Оптимальной была признана влажность 5–8 %.

Авторами статьи были проведены лабораторные исследования, в ходе которых возможность получения известкового материала контактно-карбонизационного твердения была полностью подтверждена [4, 5]. Анализ экспериментальной части, посвященной изучению одновременного влияния технологических факторов – формовочного давления прессования, влажности известкового теста и времени на процесс карбонизации извести, показал, что наибольшее влияние на конечные свойства опытных образцов оказывают удельное давление прессования и влажность теста. С ростом показателей данных факторов скорость поглощения углекислого кальция снижается, и толщина карбонизированного слоя уменьшается.

Продолжая изучение оптимальных параметров прохождения процесса карбонизации, была проведена вторая серия лабораторных испытаний, где в качестве основных технологических факторов приняли – температуру карбонизации, влажность формируемой смеси, время. Для проведения экспериментов, использовали известь Мариупольского металлургического комбината. Активность извести составляла 62 %. Время гашения 120 с, температура гашения – 373 К. Опытные образцы-цилиндры диаметром 28 мм изготавливались путем контактного формирования при удельном давлении