

ЗАСТОСУВАННЯ ДАВАЧІВ БРЕГГА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ДЕФОРМАЦІЇ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОВОЛОКОН

¹ Люблінський технологічний університет, Польща

² Інститут інформаційних та обчислювальних технологій КН МОН РК, Алмати, Казахстан

³ Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблено методику вимірювання розподілу деформації при механічному навантаженні на композитний матеріал з вуглецевих волокон за допомогою давачів на основі решіток Брегга з постійним періодом. Між шарами вуглецевих волокон розташовуються оптоволокна з Бреггівськими решітками з різними параметрами для визначення розподілень напружень в різних ділянках пластини.

Ключові слова: Волоконні Бреггівські решітки, волоконно-оптичні давачі, композитний матеріал, деформація.

Розвиток сучасних технологій спрямовано на підвищення параметрів безпеки та надійності конструкції з урахуванням потреб енергозбереження та захисту навколишнього середовища. Поширеною є тенденція до заміни в конструкціях машин та механізмів металів сучасними композитними матеріалами. Безперечною перевагою композитних матеріалів є високі параметри міцності за відносно невеликої ваги. Тому до композитних матеріалів у розробників та дослідників є стало високий інтерес.

Найбільше застосування у промисловості сьогодні знаходять полімерні композити (близько 90%). Типові полімерні армуючі матеріали містять скляні та вуглецеві волокна [1].

Руйнування композитної структури визначають різними методами, використовуючи ультразвуковий чи рентгенівський методи. Такі виміри зазвичай займають кілька годин. Вони можуть бути пов'язані з тимчасовим виведенням конструкції з експлуатації та фінансовими втратами. Іншим методом, що дозволяє досліджувати ступінь руйнування композитної структури [2,3,4] та вплив таких параметрів, як деформація [4,5] та температура [6], є оптичні давачі. Перевагою їх використання є швидке та безпечне вимірювання фізичних величин [7].

Існує кілька типів оптоволоконних давачів, які можуть бути вбудовані у композитну конструкцію. До них відносяться давачі мікрозгинів, поляриметричні [8], інтерферометричні давачі та давачі з решітками Брегга.

В цій роботі подано результати вимірювання розподілу деформації під час механічного навантаження композитного матеріалу з вуглецевих волокон за допомогою давачів на основі решіток Брегга з постійним періодом.

Давачі з решітками Брегга мають низку переваг [9,10,11,12]: частотний характер вихідного сигналу; можливість виміру деформації; невеликий розмір та вага; точковий вимір фізичних величин - чутлива частина може мати довжину від декількох десятків міліметрів; стійкість до електромагнітних перешкод; відсутня можливість самозаймання – тому їх можна використовувати поблизу джерел у вибухонебезпечних середовищах; відстань дуже мало впливає на сигнал, відбитий від волоконної Бреггівської решітки.

До недоліків давачів з волоконно-оптичною решіткою Брегга можна віднести: чутливість до перепадів температур; появу двоїстості в оптичному волокні внаслідок впливу зовнішніх сил; відносну коштовність вимірювальних систем.

Для проведення досліджень виготовлено вуглецеву пластину з оптичними волокнами, що складається з 8 шарів вуглецевої тканини. Як показано на рис. 1, послідовні волокна були вбудовані між шарами 1 та 2 (Волокно 1), між шарами 4 та 5 (Волокно 2) та між шарами 7 та 8 (Волокно 3). Таке розташування давачів волоконних бреггівських решіток (ВБР) дозволило перевірити величину розтягування матеріалу композиту в різних місцях.

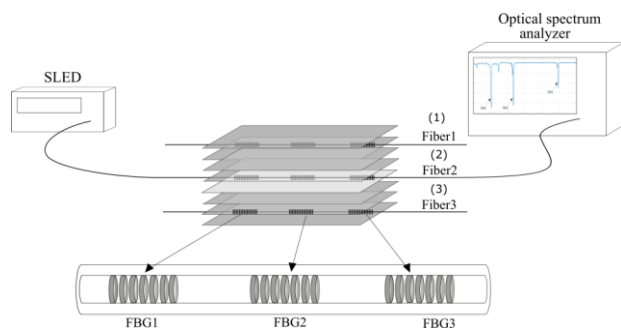


Рис. 1- Схема внутрішньої конструкції композитної пластини з вбудованими Бреггівськими решітками у трьох оптичних волокнах.

- (1) – оптоволокно 1,
- (2) – оптоволокно 2,
- (3) – оптоволокно 3

Розміщення Бреггівських решіток на різних глибинах дозволяє перевірити теоретично передбачуване відносне розтягання. Перевірка експериментальних результатів з теоретично передбачуваними напруженнями, викликаними вигином контрольної пластини, дозволила зробити висновок, що волоконні давачі були вбудовані в структуру таким чином, щоб забезпечити постійну фіксацію та відсутність можливого ослаблення або ковзання волокна всередині композитної структури. Прогин пластини виконувався з допомогою мікрометричного стрижня, керованого з комп'ютера. Пластина довжиною 300 мм спиралася своїми краями на стійкі опори, що закріплені на оптичному столі. Передня частина згинального стрижня розташовувалась у центрі випробувальної плити.

Теоретичні дослідження щодо напруження в матеріалі, який схильний до вигину, показують, що в центральній осі пластини не виникають напруження. Стиснення матеріалу має спостерігатися у верхньому шарі плити, а розтягання – у нижньому.

Вимірювання спектрів решіток, розміщених на послідовних волокнах, вимагало підключення послідовних волокон до джерела світла та аналізатора.

Аналіз спектрів показує, що зі збільшенням навантаження (вигину) випробувальної пластини, решітки, що вбудовані в поверхневий шар, стискаються. Спектральні характеристики свідчать про те, що оптичне волокно, яке розміщене в центральній частині випробувальної пластини, практично не зазнавало розтягання або стиснення. Аналіз спектрів пропускання волокна, розміщеного у нижньому шарі показує, що зі збільшенням ступеню вигину пластини, збільшуються довжини хвиль Брегга кожної з решіток, записаних на цьому волокні. Це вказує на те, що пластина в нижньому шарі розширювалася, і тому в ній виникали напруження розтягу.

Характерні зміщення довжин хвиль спостерігаються як для волокна 1, так і для волокна 3, де найбільш сильно зміщені спектри бреггівських решіток, розташованих у центрі довжини пластини. Це вказує на те, що досліджувана пластина в центральній секції схильна до найбільших розтягувальних напружень, у поза тим як напруження в бічних секціях є нижчими.

Висновки дослідження:

1. Продемонстровано застосування оптичних перетворювачів на основі волоконних решіток Брегга як давачів, вбудованих у композитні матеріали для вимірювання та моніторингу розподілу напружень.
2. Досліджено розподіл напружень у багатошарових вуглецевих пластинах у триточковій опорній системі.
3. Пояснені умови виникнення спектральних характеристик структур Брегга під час деформації композитних матеріалів у вигляді пластини, що згинається в системі з триточковою опорою.
4. Продемонстровано, що, незважаючи на зміну форми спектру бреггівських структур, вбудованих у композитний матеріал під час розтягання, можна визначити спектральний зсув, викликаний розтяганням або стисненням композитної пластини.
5. Запропоновано метод знаходження спектрального зсуву однорідних бреггівських структур, вбудованих у композитний матеріал.
6. Проведено аналіз напружень оптичних волокон, розташованих у поздовжній та поперечній осях композитного матеріалу, схильного до згинального зусилля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kolosov A.E.; Sivetskii V.I., Kolosova E.P., Vanin V.V., Gondlyakh A.V., Sidorov D.E., Ivitskiy I.I.; Creation of structural polymer composite materials for functional application using physicochemical modification; *Advances in Polymer Technology*, Vol. 2019, Article ID 3501456, 12 pages, 2019
2. Cai J., Qiu L., Yuan Sh., Shi L., Liu P., Liang D.; Structural health monitoring for composite materials; *Composites and Their Applications*, 10.5772/48215, 2012
3. Zhu Y.K., Gui Y.T., Rong S.L., Hong Z.; A review of optical NDT technologies; *Sensors*, 7773–7798, 2011
4. Zhan Y., Li L., Yang F., Gu K., Wu H., Yu M.; An all-fibre multi-parameter sensor for composite structures based on a chirped fibre Bragg grating; *Opto-Electronics Review*, 21(3), 283–287, 2013
5. Luyckx G., Voet E., Lammens N., Degrieck J.; Strain Measurements of Composite Laminates with Embedded Fibre Bragg Gratings: Criticism and Opportunities for Research; *Sensors*, Vol.11, 384–408, 2011

6. Rao Y., Yuan S., Zeng X., Lian D., Zhu Y., Wang Y., Huang S., Liu T., Fernando G., Zhang L., Bennion I.; Simultaneous strain and temperature measurement of advanced 3-D braided composite materials using an improved EFPI/FBG system; Optics and Lasers in Engineering, Vol.38, Issue 6, Pages 557–566, 2002
7. Kahandawa G.C., Epaarachchi J., Wang H., Lau K.T.; Use of FBG sensors for SHM in aerospace structures; Photonic Sensors, Vol. 2, No. 3, 203–214, 2012.
8. Guo T., Liu F., Guan B., Albert J.; Polarimetric multi-mode tilted fiber grating sensors; Optics express, Vol. 22, 7330-7336, 2014.
9. Garcia I., Zubia J., Durana G., Aldabaldetrek G., Illarramendi M.A., Villatoro J.; Optical fiber sensors for aircraft structural health monitoring; Sensors, 15, s. 15494-15519, 2015
10. Lee B.H., Kim Y.H., Park K.S., Eom J.B., Kim M.J., Rho B.S., Choi H.Y.; Interferometric fiber optic sensors; Sensors, Vol. 12, 2467–2486, 2012
11. Gao P., Chen X., Feng W.; Simultaneous measurement of external refractive index and temperature based on long-period-grating-inscribed Sagnac interferometer and fiber Bragg grating; Review of Scientific Instruments, Vol. 83, no. 10, 2012
12. Wang M., Wang D.N., Yang M., Cheng J., Li J.; In-line Mach-Zehnder Interferometer and FBG with Pd film for simultaneous hydrogen and temperature detection; Sensors and Actuators B: Chemical, Vol. 202, 893-896, 2014

Вуйцик Вальдемар, доктор технічних наук, професор, професор факультету електротехніки та комп'ютерних наук Люблінського технологічного університету, Люблін, waldemar.wojcik@pollub.pl

Ерالیєва Бахит – PhD, Інститут інформаційних та обчислювальних технологій КН МОН РК, Алмати, Казахстан

Поліщук Леонід Клавдійович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри галузевого машинобудування Вінницького національного технічного університету, Вінниця, e-mail: leo.polishchuk@gmail.com

Шенфельд Валерій Йосипович – канд. технічних наук, доцент, доцент кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: leravntu@gmail.com

APPLICATION OF BRAGG SENSORS TO MEASUREMENT OF DEFORMATION OF CARBON NANOFIBERS

Abstract

A method for measuring the strain distribution under mechanical loading on a carbon fiber composite material using sensors based on Bragg gratings with a constant period has been developed. Optical fibers with Bragg gratings with different parameters are placed between the layers of carbon fibers to determine the stress distributions in different areas of the plate

Key words: Волоконні Бреггівські решітки, волоконно-оптичні датчики, композитний матеріал, деформація.

Wojcik Waldemar, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Lublin University of Technology, Lublin, waldemar.wojcik@pollub.pl

Eralieva Bakhyt, PhD, Institute of Information and Computational Technologies CS MSHE RK, Taraz Regional University named after M.Kh. Dulaty, Taraz, Kazakhstan

Polishchuk Leonid Klavdiyovych – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Industrial Mechanical Engineering of Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: leo.polishchuk@gmail.com

Shenfeld Valeriy - Cand. tech. Sciences, Associate Professor of Industrial Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: leravntu@gmail.com