

МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ SMART-ТЕХНОЛОГІЙ У ДІАГНОСТИЦІ ПОШКОДЖЕНЬ КОМПОЗИТНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Вступ

На цей час композитні конструкції успішно експлуатуються в різних галузях техніки і активно витісняють конструкції з традиційних матеріалів. Перш за все, це пов'язано з особливостями композитів і впровадженням нових, ефективних і досить недорогих технологій виготовлення конструкцій. Інтенсивне використання композитів не тільки в основних елементах конструкції літальних апаратів приводить до збільшення загального обсягу виробництва композитних конструкцій. Наприклад, конструкція планера (фюзеляж, крило, оперення) Boeing-787 виконана більш ніж на 50 % з вуглепластика (рис. 1) [1].

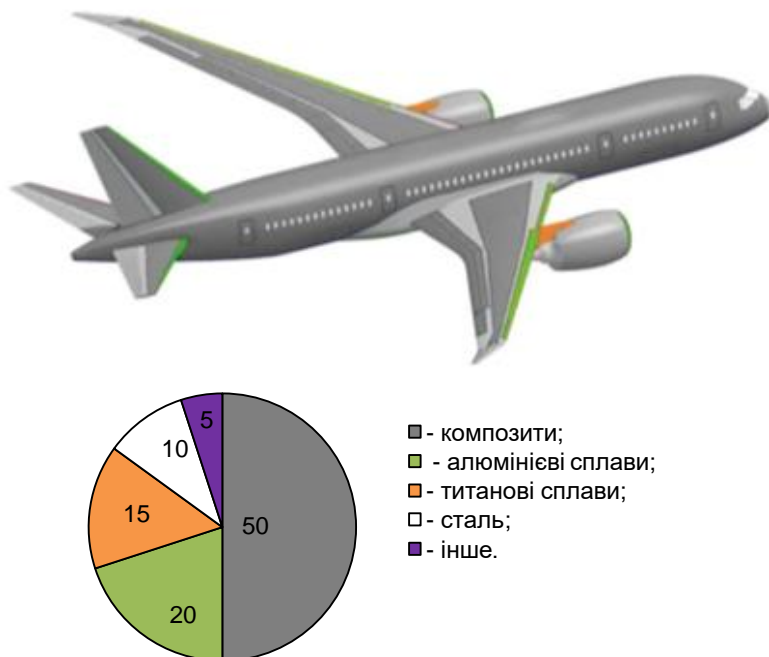


Рисунок 1 – Застосування конструкційних матеріалів в літаку Boeing-787

Зростання обсягів застосування композитних конструкцій неминуче призводить до збільшення числа пошкоджень конструкцій як в процесі експлуатації, так і на етапі виробництва. Пошкодження композитних конструкцій або дефекти, такі як поперечне розтріскування, руйнування волокна, розшарування, порожнечі, розтріскування матриці й розпушення волоконно-матричної матриці, виникають в конструкції не тільки під час експлуатації, але й на різних етапах виробництва (рис. 2) [2 – 4].

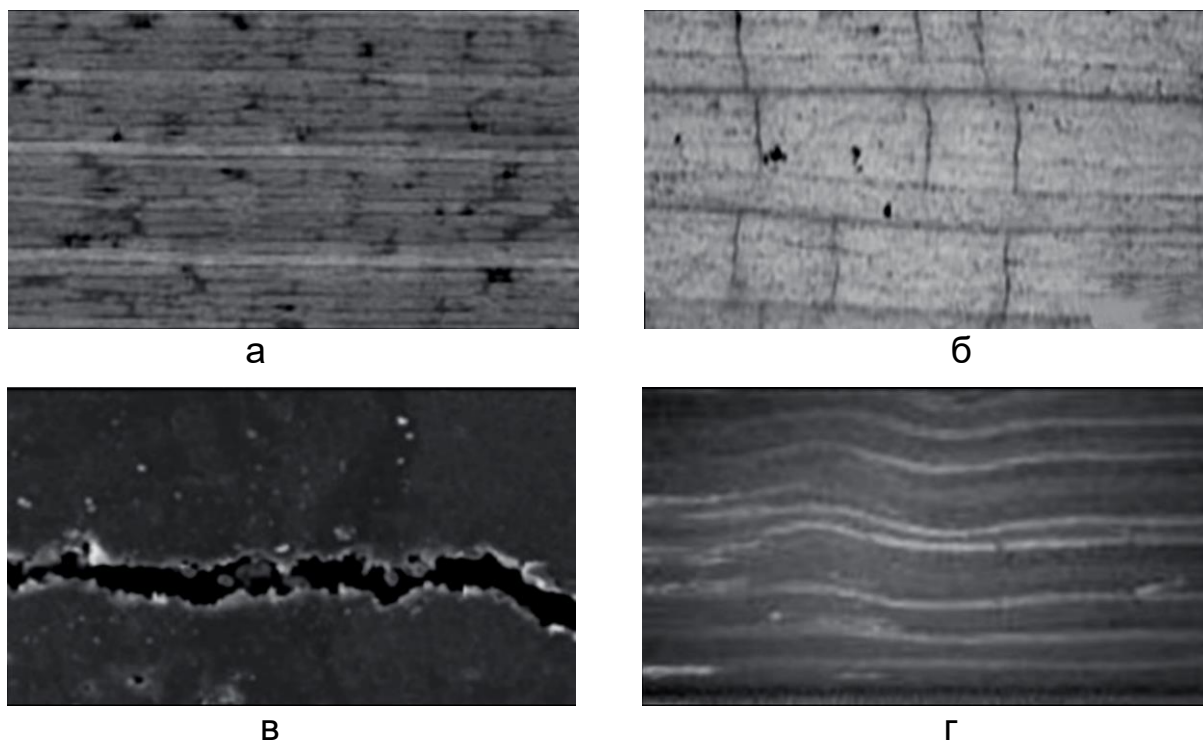


Рисунок 2 – Дефекти композитних конструкцій: а – пори (темні); б – поперечні розтріскування; в – розшарування; г – хвилястість

У складно-навантаженому стані в композитних конструкціях під час експлуатації можуть виникати ушкодження у вигляді ударного пошкодження структури, розшарування і/або поперечного розтріскування. Розвиток пошкоджень в композитах має, зазвичай, більш складний механізм, ніж в традиційній металевій конструкції, і виявлення порушення структури зазвичай відбувається після того, як конструкція стає непридатною й руйнується. Ці пошкодження іноді можуть призвести до катастрофічних наслідків.

Удар птахом або ж попадання крупного граду – становить високу небезпеку для літака (рис. 3). У разі зіткнення літака з птахом відбувається пошкодження обшивки з подальшим розвитком тріщин обшивки літака [5].



Рисунок 3 – Зовнішні пошкодження літаків: а – зіткнення літака з птахом; б – пошкодження літака градом

Основні ідеї SMART-конструкцій

Ідея SMART-конструкцій є відносно новою. Незважаючи на це за останнє десятиліття проблемі подібних конструкцій приділялась значна увага в наукових дослідженнях. SMART-конструкції, які також відомі в літературі як інтелектуальні, чутливі, багатофункціональні або адаптивні, можна охарактеризувати як системи, які змінюють свої властивості залежно від зміни навколишнього середовища, яке вони фіксують. SMART-конструкції – це система або матеріал, який має вбудований або власний датчик, виконавчий механізм (актуатор) і механізм управління, за допомогою якого він здатний сприймати збудливий чинник, реагуючи на нього в певному порядку і в межах короткого проміжку часу, і повертатися в початковий стан після зникнення чинника [6 – 8].

Концепція SMART-конструкції була запозичена з природи. На сьогоднішній день метою поточних досліджень в області SMART-систем є створення такої структури, що імітує живі організми, які мають систему розподілених сенсорних нейронів, що проходять по всьому тілу, дозволяючи мозку контролювати стан різних частин тіла. Однак зараз інтелектуальні системи багато в чому поступаються живим істотам, оскільки їх рівень інтелекту дуже примітивний. На сьогодні виділяють п'ять основних типів інтелектуальних структур, які пов'язані між собою (рис. 4) [8 – 11]:

- сенсорні структури. Ці структури мають датчики, які дозволяють визначати або контролювати стан/характеристики системи;
- адаптивні структури. Ці структури мають приводи, які дозволяють контролювати стан або характеристики системи;
- контрольовані структури. Вони є результатом перетину сенсорної й адаптивної структур. Ці структури мають як датчики, так і виконавчі механізми (актуатори), які вбудовані в архітектуру зворотного зв'язку для управління станом або характеристиками системи;
- активні структури. Ці структури мають як датчики, так і виконавчі механізми, які значною мірою інтегровані в структуру і демонструють структурну функціональність на додаток до функціональних можливостей управління;
- інтелектуальні структури. Ці структури є в основному активними структурами, що володіють високоінтегрованою логікою управління і електронікою, яка забезпечує когнітивний елемент розподіленої або ієрархічної архітектури управління.

Можна зазначити, що комбінація сенсор-виконавець-контролер може бути реалізована або на макроскопічному (структурному), або на мікроскопічному (матеріальному) рівні. Відповідно, можуть бути як SMART-конструкції, так і SMART-матеріали.

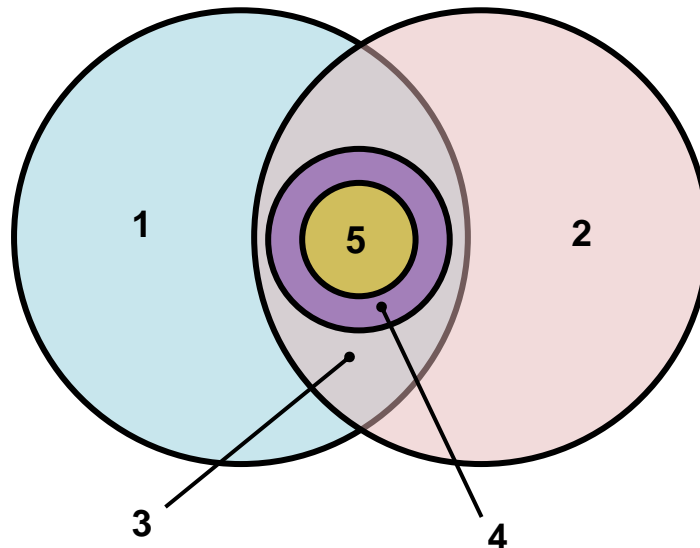


Рисунок 4 – Типи SMART-конструкції: 1 – сенсорні структури; 2 – адаптивні структури; 3 – контрольовані структури; 4 – активні структури; 5 – інтелектуальні структури

У загальному випадку SMART-конструкції містять елементи, виготовлені з певних матеріалів, які забезпечують (рис. 5) [10 - 12]:

- змінення властивостей всієї конструкції в цілому під дією зовнішнього поля різної фізичної природи (електричних, магнітних, температурних тощо);
- оцінювання даних про стан об'єкта і прийняття рішення про дії (за допомогою обчислювальних методів, розроблених в межах досліджень таких конструкцій);
- визначення і виконання правильної дії (на основі знань або відповідних законів управління).

SMART-системи можуть виконувати такі функціональні завдання: контроль профілю об'єкта, виявлення пошкоджень, в тому числі на ранній стадії, контроль і управління динамічними процесами, мікропозиціонування, управління геометрією, перетворення паразитних шумів на корисну енергію. Прикладами практичних застосувань SMART-матеріалів можуть бути роботи з їх використання в авіації для протидії аеропружним і вібраційним ефектам, для гасіння вібрацій кабіни літака, для самодіагностики порушення структури конструкції, виявлення пошкоджень, у космічній техніці для управління динамічною поведінкою супутникових конструкцій тощо.

Конструктивно SMART-системи (матеріали або конструкції) містять [8]:

- вбудовані або закріплені на поверхні датчики;
- вбудовані або встановлені на поверхні актуатори;

• схеми елементів управління для реалізації системи контролю (що дозволяють обробляти дані з датчиків для прийняття відповідного рішення).

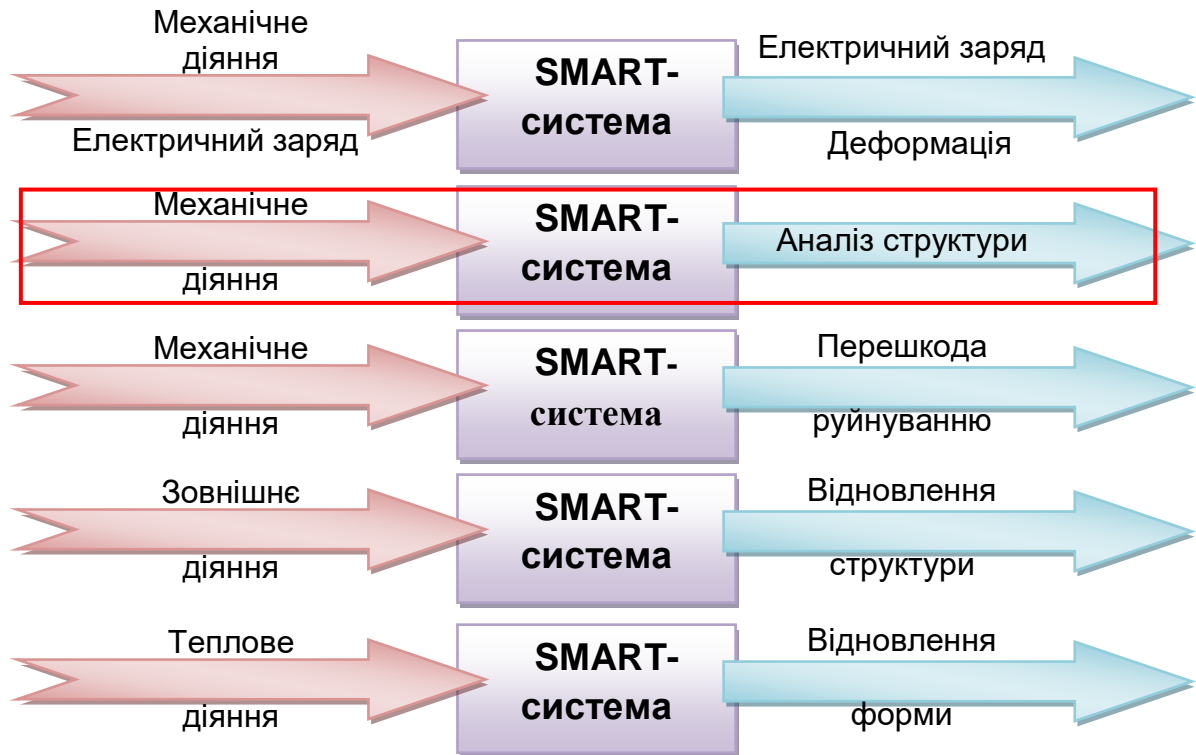


Рисунок 5 – Застосування SMART-систем

Можливості застосування SMART-технологій в аерокосмічній техніці

Через досить високу електро- і теплопровідність вуглецеві волокна можуть бути багатофункціональним матеріалом і застосовуватися в SMART-конструкціях, в яких механічне пошкодження призводить до зміни не тільки міцності, а й електрофізичних і теплофізичних характеристик, що, в свою чергу, дозволяє отримувати інформацію про стан конструкції в режимі реального часу за допомогою моніторингу електричного опору (електричного потенціалу). Особливість застосування вуглецевих волокон як «сенсорів» діагностики пошкоджень полягає в тому, що волокно сприймає навантаження і в той же самий час проводить самодіагностику без будь-яких додаткових датчиків, які мають бути вмонтовані в композитну конструкцію. У порівнянні з традиційними методами неруйнівного контролю, відомо, що вимір опору дозволяє здійснювати моніторинг зародження і розвитку внутрішнього пошкодження, який відбувається в композитній конструкції. Зміни електричного опору в пошкодженій композитній конструкції, яке було

пов'язане з пошкодженням вуглецевого волокна, експериментальним шляхом досліджується протягом останнього десятиліття.

На разі питання діагностики, своєчасного виявлення проблемних зон (рис. 6) композитної конструкції в процесі експлуатації за допомогою SMART-технологій є актуальним завданням.

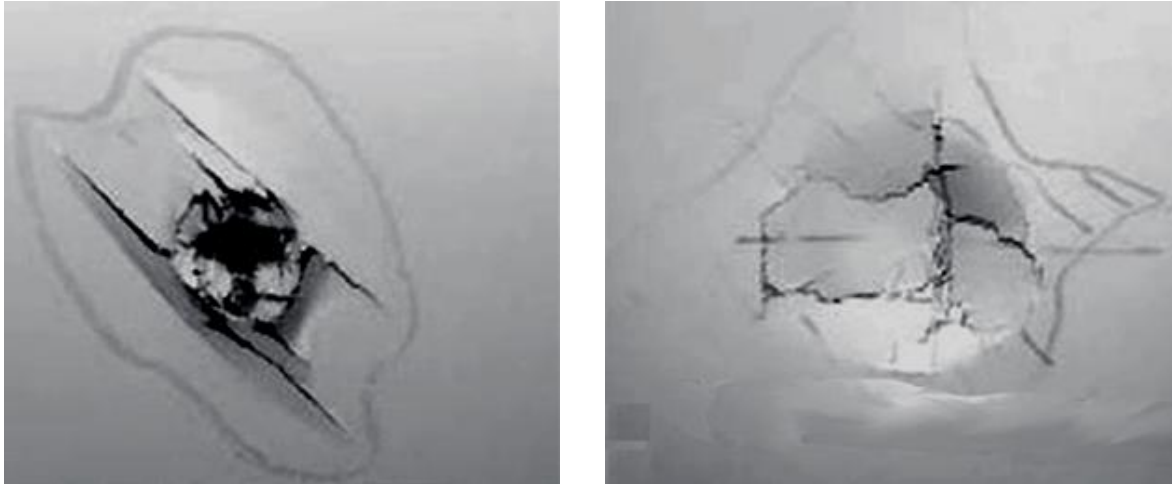


Рисунок 6 – Проблемні зони (зовнішні пошкодження) композитної конструкції

Висновки

Таким чином, для реалізації ідей самодіагностики механічних пошкоджень в об'єктах аерокосмічної техніки за допомогою SMART-технологій необхідно поетапно вирішити такі завдання:

- провести аналіз можливості реалізації того чи іншого виду SMART-конструкції (матеріалу) в конкретних композитних конструкціях і оцінити ефективність запропонованого методу самодіагностики;
- розробити математичну модель;
- відпрацювати запропоновану технологію на різних експериментальних зразках.

Список використаних джерел

1. Marsh, George Composites flying high (Part 1) // Materials Today. Retrieved, May 23, 2015.
2. Троицкий, В. А. Неразрушающий контроль качества композиционных материалов / В. А. Троицкий, М. Н. Карманов, Н. В. Троицкая // Техническая диагностика и неразрушающий контроль, – 2014. – № 3. – С. 29–33.
3. Knauss W.G., Gonzalez L. Global Failure Modes in Composite Structures NASA Grant NAG 1-1975; 2001.
4. Варна, Я. Объединение механики макро- и микрповреждений для оценки функциональных характеристик

композитных материалов / Я. Варна, Р. Талрея // Механика композитных материалов. – 2012. – Т. 48, № 2. – С. 211–234.

5. Gard, Katie; Groszos, Mark S.; Brevik, Eric C.; Lee, Gregory W. Spatial analysis of Bird–Aircraft Strike Hazard for Moody Air Force Base aircraft in the state of Georgia // Georgia journal of science: official publication of the Georgia Academy of Science, – January 2007. – 65(4). – P. 161–169.

6. Бруданов, А. М. Оценка перспектив развития smart-материалов и SMART-конструкций / А. М. Бруданов // Молодой ученый. – 2015. – № 24(104). – С. 99–101.

7. Бруданов, А. М. Практическое применение smart-материалов и SMART-конструкций / А. М. Бруданов // Молодой ученый. – 2015. – № 24(104). – С. 101–104.

8. Chee-Kiong Soh, Yaowen Yang, Suresh Bhalla Smart Materials in Structural Health Monitoring, Control and Biomechanics // Springer Science & Business Media. – 2012. – 618 p.

9. Takagi, T. A concept of intelligent materials // J. Intell. Mater. Syst. Struct. – 1990. – Vol. 1. – Pp. 149–156.

10. Rogers, C.A., D.K. Barker, and C.A. Jaeger, 1988. Introduction to Smart Materials and Structures // Proceedings of U.S. Army Research Office Workshop on Smart Materials, Structures and Mathematical Issues, Sept. 15-16, Virginia Polytechnic Institute and State University, Technomic Publishing Co., Inc. Pp. 17–28.

11. Susmita Kamila Introduction, Classification and Applications of Smart Materials: An Overview // American Journal of Applied Sciences, – 2013, – Vol. 10. – Pp. 876–880.

12. Aktan, A. E., Helmicki, A. J. and Hunt, V. J. Issues in Health Monitoring for Intelligent Infrastructure // Smart Materials and Structures. – 1998. – Vol. 7, No. 5. – Pp. 674–692.

Поступила в редакцию 21.06.2018.

Рецензент: д-р техн. наук, Карпов Я.С.

*Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков*