

УДК 534.8.081.7

БАРАНОВА О.С.

Київський національний університет технологій та дизайну

ДЕФЕКТОСКОПІЯ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ З ЗАСТОСУВАННЯМ УДАРНО - АКУСТИЧНОГО МЕТОДУ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

Мета. Аналіз механічних напружень при ударному методі контролю дефектів.

Методика. Основні параметри, які контролюються при ударному методі контролю дефектів: резонансні частоти коливань елементів дефекту, амплітуда та затухання коливань.

Результати. Результати дослідів підтверджують правильність запропонованої моделі композитного матеріалу, по якій впливає, що при дефекті (розшаруванні) порушується цілісність матеріалу і в місці дефекту з'являється два і більше елементів, які мають свої резонансні частоти і створюють складний спектр.

Наукова новизна. Встановлено, що в композитному матеріалі можливо визначити місце та характер розшарування шляхом контролю резонансів.

Практична значимість. Отримано експериментальну залежність характеру резонансів від розміру дефекту.

Ключові слова: композитні матеріали, розшарування, резонансні частоти, контроль дефектів, ударний метод.

Вступ. Композитні матеріали, до яких відносяться неоднорідні суцільні матеріали, складаються з двох або більше компонентів з чіткою межею поділу між ними. До таких матеріалів відносяться: фанера - композитний листовий матеріал, з покладених в певній послідовності і проклеєних шарів деревного шпону; деревостружкові плити (ДСП) - одержувані шляхом гарячого пресування формувальної маси, що складається з суміші деревних стружок і полімерного сполучного мочевиноформальдегідної або фенолоформальдегідної смоли; плити OSB з орієнтованої тріски та інші.

Постановка завдання. Об'єктом дослідження в даній роботі був зразок 5-ти шарової фанери розміром 7x110x220мм. Експериментальне визначення проводилося за допомогою п'єзоелементу типу ЦТС-19 діаметром 10мм і товщиною 1мм, жорстко закріпленому на ударнику і електрично з'єднаному з цифровим осцилографом OSCILL.

Результати дослідження. При наявності в композитних матеріалах такого дефекту як розшарування, структуру локальної ділянки, де знаходиться дефект можна представити у вигляді двох пластини, опертих по краях з ділянкою прошарку повітря між ними. На рис. 1 представлено формалізоване зображення перетину такої ділянки.

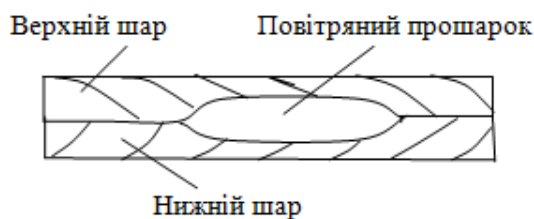


Рис.1 Перетин ділянки композитного матеріалу з дефектом (повітряним прошарком)

Представивши верхній і нижній ділянки дефекту (повітряного прошарку) композитного матеріалу як сукупність абсолютно твердих тіл з лінійними пружними і в'язкими елементами пластини, можна отримати модель дефекту розшарування композитного матеріалу (рис.2).

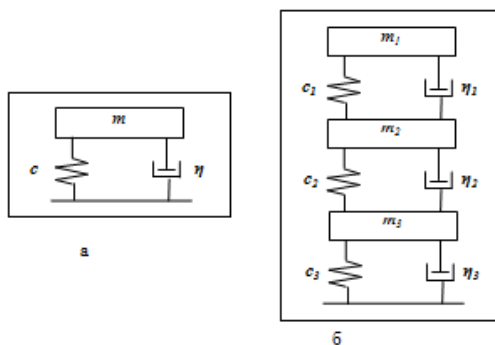


Рис. 2 Моделі композитного матеріалу:

а – композитний матеріал без дефекту; б – композитний матеріал з дефектом матеріалу (повітряний прошарок)

На рис. 2а показано модель композитного матеріалу без дефекту, в якій m – маса, c – пружність, η – в'язкість композитного матеріалу. На рис.2б – m_1 та m_3 позначають маси верхньої та нижньої ділянок композитного матеріалу з дефектом (повітряний прошарок); c_1 , c_3 та η_1 , η_3 – відповідно пружність і в'язкість цих ділянок. Відповідно m_2 , c_2 та η_2 – це маса, пружність і в'язкість повітряного прошарку.

Кожна ділянка дефекту композитного матеріалу масою m характеризується пружністю

$$C = E \cdot S/l, \text{ Н/м}, \quad (1)$$

де C – пружність елемента композитного матеріалу, Н/м ;

E – модуль пружності елемента, Н/м² ;

S – площа перетину елемента, м² ;

l – довжина елемента, м .

Маса пластин дорівнює

$$m = \rho \cdot S \cdot l, \text{ кг} ; \quad (2)$$

де ρ - щільність композитного матеріалу чи повітря, кг/м³ .

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_1} + \frac{\sigma}{E_3} + \frac{\sigma}{E_2} \cdot \left(1 - e^{-E_2 \frac{t}{\eta_2}}\right) \varepsilon = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\sigma}{E_{1i}} + \frac{\sigma}{E_{3i}} + \frac{\sigma}{E_{2i}} \cdot \left(1 - e^{-E_{2i} \frac{t}{\eta_{2i}}}\right) \right); \quad (3)$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_1} + \frac{\sigma}{E_3} + \frac{\sigma}{E_2} \cdot \left(1 - e^{-E_2 \frac{t}{\eta_2}}\right)$$

Модель дефекту в такому вигляді дає підстави припустити, що при механічному впливу на виріб з композитного матеріалу ударном методом, в ньому будуть виникати, залежно від його структури (наявність або відсутність дефекту) різні за формою та

величиною акустичні коливання. Аналіз величин цих коливань, наприклад, їхній спектральний склад на різних ділянках композитного матеріалу, дозволить виявляти дефекти ударним методом.

Модель дефекту композитного матеріалу дозволяє розрахувати резонансні властивості елементів дефекту і за їх характеристиками розрахувати параметри вимірювального пристрою для контролю дефектів.

Так як обраний ударний метод контролю дефектів типу розшарування, то основними параметрами які контролюють при цьому методі, є резонансні частоти коливань елементів дефекту, амплітуда та затухання коливань [1].

Також необхідно розрахувати силу удару ударника вимірювального пристрою (рис.3) по контрольованій поверхні.

Ударник не повинен руйнувати досліджуваний матеріал і мати достатню енергію, щоб викликати механічні коливання в зразку композитного матеріалу, які можна було б вимірювати чутливим елементом вимірювального пристрою з достатньою точністю. Наприклад, межа міцності деревини сосни без вад, при дії зусиль вздовж волокон, становить при при стисненні - 40 МПа.

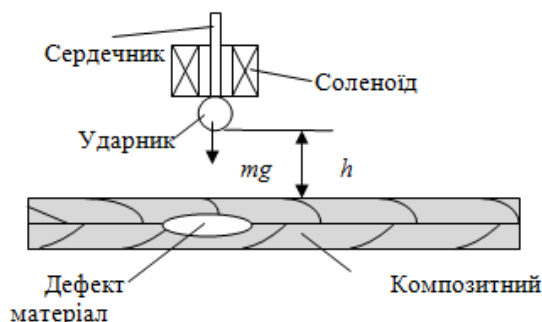


Рис. 3 Схема пристрою для контролю дефектів ударним методом

При дії ж зусиль поперек волокон вони легко сплющуються або розшаровуються, тому міцність деревини при стисненні в цьому випадку не перевершує 6,5 МПа. Неоднорідність будови, наявність вад значно (приблизно на 30%) знижують міцність деревини при стисненні. Таким чином, силовий вплив ударного датчика на поверхню дерев'яного виробу не повинен перевищувати, приблизно 4 МПа.

Металевий ударник (рис.3) масою m , з жорстко закріпленим на ньому п'єзоелементом, утримується електромагнітом на висоті h над поверхнею композитного матеріалу. При відключенні живлення на електромагніт датчик вільно падає з прискоренням g на вимірювальну поверхню композитного матеріалу. При ударі об поверхню, на обкладинках п'єзоелементу виникають електричні заряди, пропорційні імпульсу сили який виникає при зіткненні ударника з вимірювальною поверхнею.

Рух ударника можна описати рівнянням [2]:

$$-cx = ma \quad (3)$$

де c – пружність композитного матеріалу;

x – поточне значення обтиску композитного матеріалу;

m – маса ударника;

a – прискорення ударника.

Рішення цього рівняння при початкових умовах: $x(0)=0$; $v(0)=v_0$ має вигляд:

$$x = \frac{v_0}{\rho} \cdot \sin \rho t, \quad (4)$$

де $\rho = \sqrt{c/m}$.

Звідси випливає, що найбільша сила стиснення композитного матеріалу буде дорівнювати

$$F_{max} = c \cdot x_{max} = v \cdot \sqrt{m \cdot c}. \quad (5)$$

При установці ударника на висоті $h=0,1$ м швидкість в момент удару буде дорівнювати

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 0,1} = 1,4 \text{ м/с} \quad (6)$$

Для орієнтовного розрахунку максимальної сили удару ударника прийемо такі значення:

маса ударника $m=0,05$ кг; модуль пружності деревини $E=10000$ МПа; площа перетину дефекту $S=0,0001 \text{ м}^2$, довжина дефекту $l=0,2$ м.

Підставляючи ці значення у вираз (5) отримуємо

$$F_{max} = v \cdot \sqrt{m \cdot E \cdot S/l} = 1,4 \cdot \sqrt{0,05 \cdot 10000 \cdot 10^6 \cdot 0,0001/0,1} = 990 \text{ Па}.$$

Отримане значення стиснення композитного матеріалу значно менше межі міцності деревини ($0,000990 \text{ МПа} < 4 \text{ МПа}$), що надійно гарантує неруйнівний контроль композитних матеріалів з деревини ударним методом.

Попередні досліди з використанням ударного методу визначення дефектів показали значну різницю спектральних складових електричних сигналів на обкладинках п'єзоелементу при наявності дефекту і за його відсутності [3].

Досліди проводили на зразках 5-ти шарової фанери розміром $7 \times 110 \times 220$ мм (рис.4).



Рис. 4 Зразок фанери с дефектом (розшарування)

В якості датчика застосовано п'єзоелемент типу ЦТС-19 діаметром 10мм і товщиною 1мм, жорстко закріплений на ударнику і електрично з'єднаний з цифровим осцилографом OSCILL.

На осцилограм (рис.5) показано сигнал з датчика при його ударі на бездефектній ділянці фанери.

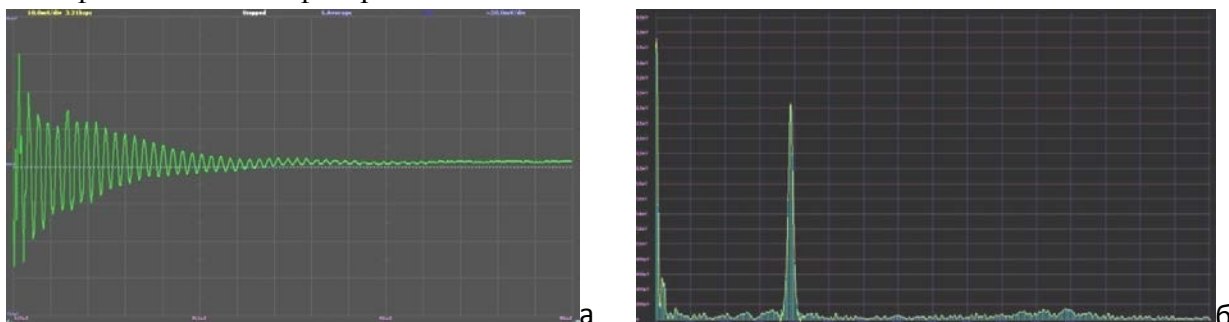


Рис. 5 Осцилограми сигналу ударного датчика з бездефектної ділянці фанери (а - осцилограма, 10мс/под.; б – спектр, 100Гц/под., $f_{рез} = 388$ Гц)

На осцилограмах (рис.6) показано сигнал з датчика при його ударі по поверхні фанери на ділянці фанери з дефектом (розшарування).

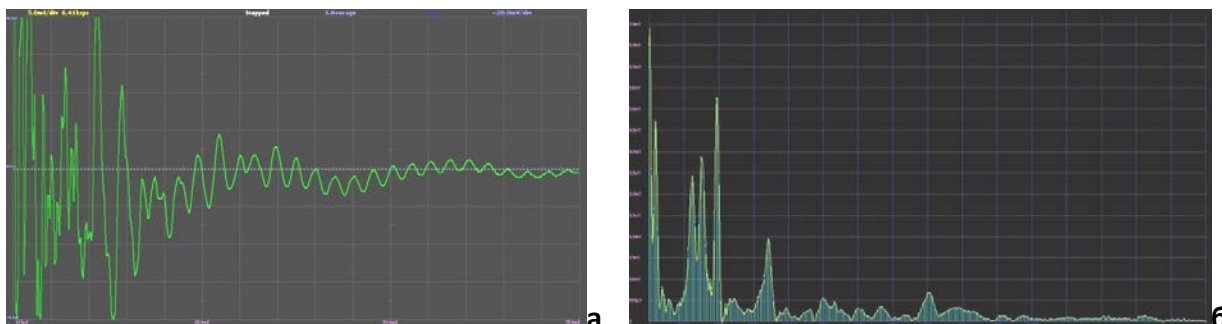


Рис. 6 Осцилограми сигналу ударного датчика при його ударі на ділянці фанери з дефектом (розшарування): а - осцилограма, 5мс/под.; б – спектр, 200Гц/под

Висновки. Аналізуючи наведені осцилограми можна зробити наступні висновки:

- при ударі ударника вимірювального пристрою об поверхню контрольованого матеріалу при відсутності дефекту резонує цілісна ділянка зразка. При цьому спостерігається один резонанс і осцилограма має форму спадної за амплітудою синусоїди (рис.5).
- при ударі ударника вимірювального пристрою по ділянці фанери з дефектом резонують різні ділянки зразка. При цьому з'являються додаткові резонанси в спектрі сигналу п'єзOMETричного датчика.
- таким чином, контролюючи кількість резонансів можна судити про характер розшарування і його місце розташування в композитному матеріалі.

Список використаних джерел

1. Исакович М.А. Общая акустика, - М.:Наука, 1973, -496 с.

2. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара, Ленинград, «Машиностроение», 1976, 320 с.

3. Защук И.В. Электроника и акустические методы испытания строительных материалов, -М.:Высшая школа, 1967,-248 с.

**ДЕФЕКТОСКОПИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УДАРНО-АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**

БАРАНОВА О.С.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Анализ механических напряжений при ударном методе контроля дефектов.

Методика. Основные параметры, которые контролируются при ударном методе контроля дефектов: резонансные частоты колебаний элементов дефекта, амплитуда и затухание волн.

Результаты. Результаты исследования подтверждают правильность предложенной модели композиционного материала, по которому влияет, что при дефекте (расслоении) нарушается целостность материала и в месте дефекта появляется два или больше элементов, которые имеют свои резонансные частоты и создают сложный спектр.

Научная новизна. Установлено, что в композитном материале можно определить место и характер расслоения путем контроля резонансов.

Практичная значимость. Получена экспериментальная зависимость характера резонансов от размера дефекта.

Ключевые слова: *композиционные материалы, расслоение, резонансные частоты, контроль дефектов, ударный метод.*

**DEFECTOSCOPY OF COMPOSITE MATERIALS USING SHOCK-
ACOUSTIC METHOD OF NONDESTRUCTIVE TESTING**

BARANOVA O.S.

Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. Analysis of stress in shock method of monitoring defects.

Methodology. The main parameters, which are controlled by shock method of monitoring defects: resonant frequency elements of the defect, amplitude and damping of waves.

Findings. The research results confirm the correctness of the proposed model of the composite material, in which the influence that the defect (bundle) violated the integrity of the material and location of the defect appears two or more elements, which immersed their resonant frequencies and create complex spectrum.

Originality. It was found that the composite material can determine the location and character of bundle by counting resonances.

Practical value. It was received an experimental dependence of the character of resonances of size of the defect.

Keywords: *composite materials, bundle, resonant frequency, control defects, shock method.*