

УДК 629.735.33

В.В. Астанін, д-р техн. наук  
Г.О. Олефір**СКАНУВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ПОШКОДЖЕНЬ  
ПОВЕРХНІ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

НАУ, кафедра механіки, e-mail: astanin@nau.edu.ua

*Запропоновано метод порівняльної оцінки механічних пошкоджень різних матеріалів та елементів конструкції за допомогою розробленого приладу. Принцип дії приладу полягає в передачі інформації про профіль об'ємно деформованої поверхні, зісканованої цупом і переведеної у цифровий вигляд оптичною системою зчитування, до ЕОМ з подальшою її обробкою й аналізом у спеціальному програмному середовищі.*

**Вступ**

Одним з основних напрямів поліпшення якості продукції машинобудування, її технічного рівня є підвищення міцності, надійності та зменшення ваги готових виробів транспортних засобів.

У зв'язку з цим доцільним є використання матеріалів з оптимальними для задоволення поставлених у кожному конкретному випадку перед ними вимог властивостями.

Зокрема, це можна реалізувати за допомогою композиційних матеріалів, характерною особливістю яких є можливість задання і конструювання властивостей матеріалу при проектуванні. Однак композиційні матеріали, які мають високі показники експлуатаційних характеристик і є надзвичайно високотехнологічними у виробництві, надзвичайно чутливі до зовнішніх пошкоджень. Це питання особливо актуально для транспортних засобів, що експлуатуються у наземних жорстких умовах.

Зовнішня поверхня корпусів автомобілів і локомотивів інтенсивно взаємодіє зі сторонніми предметами, починаючи від піску і пилу, захопленому аеродинамічними потоками зовнішнього обтікання, і закінчуючи камінням вагою в декілька сотень грамів, яке вилітає з-під коліс зустрічних і попутних транспортних засобів.

Сучасні наземні транспортні засоби рухаються зі швидкостями до 200 км/год, а потенційна швидкість каміння, яке вилітає з-під коліс зустрічного транспортного засобу, під час зустрічі з поверхнею може досягати 100 м/с.

Необхідність оцінки властивостей і поведінки матеріалу під дією зовнішніх сил, що призводять до пружних чи залишкових деформацій, які залежать від структури та природи матеріалу, порівняння деформаційних характеристик різних варіантів виконання матеріалу на стадії розробки самого матеріалу і конструкції в цілому, зумовлюють актуальність розробки приладу для оперативної кількісної та якісної оцінки механічних пошкоджень поверхонь конструкцій.

**Аналіз існуючих методів вирішення проблеми**

Особливості використання композиційних матеріалів на транспортних засобах, їх основні властивості, методи досліджень і вимоги до них досить повно проаналізовані в працях [1–4].

Усі прилади для кількісної й якісної оцінки механічних пошкоджень поверхонь конструкцій можна розбити на дві великі групи:

– прилади для оцінки макропошкоджень поверхні;

– прилади для оцінки мікропошкоджень поверхні.

Основним недоліком усіх без винятку приладів обох груп оцінки механічних пошкоджень поверхонь конструкцій, виготовлених з різних матеріалів, оснований на найрізноманітніших принципах, є те, що вони не універсальні й працюють строго у вузькій зоні вимірювань.

Прилади для вимірювань мікропошкоджень принципово непридатні для вимірювань макропошкоджень і навпаки.

Реальні пошкодження поверхні конструкцій, отриманих у реальних експлуатаційних умовах, мають комбінований макро- і мікрохарактер.

Фактично кожне макропошкодження супроводжується гаммою мікропошкоджень, які постають на етапі виникнення макропошкодження [5; 6]. Це пошкодження зовнішнього декоративного покриття, і структурні мікротріщини самого конструктивного матеріалу, які виникли в зоні і точках безпосередньої взаємодії та в зоні конструкції, що сприйняла це навантаження і певним чином відреагувала на нього.

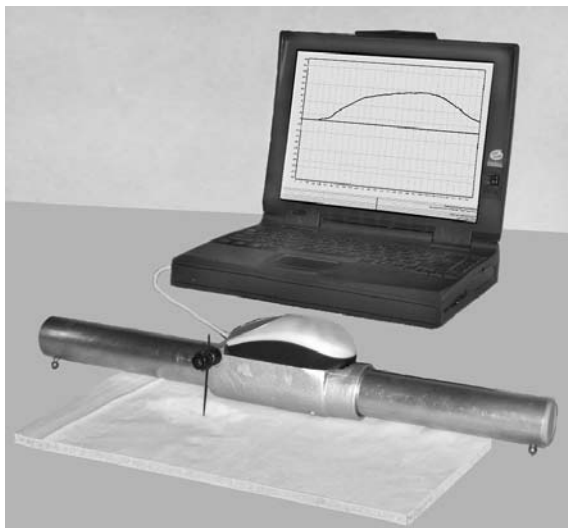
**Мета** роботи – розробка методу і приладу для оперативної кількісної і якісної оцінки комплексних макро- і мікромеханічних пошкоджень поверхонь конструкцій, виготовлених з різних матеріалів.

**Основний матеріал дослідження**

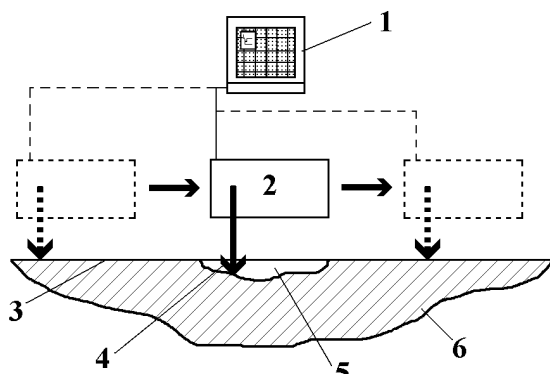
Під час створення багатошарових композитів постає проблема порівняння деформаційних характеристик для різних варіантів компонування матеріалу оперативної комплексної кількісної та якісної оцінки макро- і мікродеформаційних

характеристик матеріалів, визначення деформаційних пошкоджень поверхні транспортних засобів, виготовлених з цих матеріалів, у лабораторних і реальних експлуатаційних умовах. Для визначення деформаційних характеристик матеріалу розроблений і виготовлений спеціальний прилад – оптичний детектор деформацій ODD (Optical Deformation Detector).

Принцип дії ODD полягає в передачі інформації про профіль об'ємно деформованої поверхні матеріалу, зісканованої за допомогою щупа 4, який, переміщуючись по напрямній, послідовно сканує недеформовані 3 і деформовані 5 ділянки поверхні конструктивного елемента 6 та переведеної у цифровий вигляд за допомогою оптичної системи зчитування 2, до ЕОМ 1 з подальшою її обробкою і аналізом у спеціальному програмному середовищі (рис. 1, б).



а



б

Рис. 1. Оптичний детектор деформацій:  
а – загальний вигляд приладу; б – принципова схема;  
1 – ЕОМ; 2 – оптична система зчитування інформації про переміщення щупа; 3 – недеформована ділянка поверхні; 4 – скануючий щуп; 5 – zdeформована ділянка поверхні; 6 – ділянка конструктивного елемента з пошкодженнями

Прилад може бути реалізований у вигляді напрямної, початкове положення якої задає прийняту систему координат, відносно якої проводитимуться вимірювання, що може жорстко закріплюватися відносно досліджуваної поверхні чи безпосередньо на сканованому конструктивному елементі для зняття показань в експлуатаційних умовах рухомого елемента, який конструктивно поєднує в собі щуп, забезпечуючи його пересування завдяки можливості здійснювати поступальний і обертальний рух відносно напрямної, і оптичну систему визначення переміщень щупа (рис. 1, а).

Вибір конструкції приладу тісно пов'язаний з обраною методикою сканування. Розглядалися варіанти конструкції приладу, в яких використовувалося сканування по окружності, гвинтовій траєкторії та ін.

Обрана і застосована у конструкції приладу методика порядкової лінійної розгортки суттєво спрощує кінематику руху скануючого елемента, зменшує ймовірність появи похибок, викликаних некоректним заданням оператором, який проводить вимірювання, кроку сканування, а також дозволяє за допомогою спеціальної направляючої рамки, яка входить у комплект приладу, автоматизацію приводу поступального і задання покрокового переміщення рухомої частини ODD з безпосереднім уведенням числового значення величини кроку в ЕОМ.

Як показали проведені дослідження, на відміну від такої конструкції приладу, за якою переміщення щупа зчитуються в сферичній чи прямокутній системі координат, оптимальною з погляду отримуваної точності сканування і простоти використання та виготовлення є конструкція з отриманням координат точок деформованої поверхні відносно циліндричної системи координат.

При цьому поздовжнє переміщення щупа вздовж напрямної сканування береться за координату  $X$ , а деформація поверхні матеріалу враховується через обертове переміщення щупа навколо напрямної сканування (координата  $Y$ ).

Зміна сканованого рядка здійснюється через переміщення напрямної паралельно самій собі, що позначається координатою  $Z$ .

Блок оптичної системи зчитування, рухаючись разом з щупом по напрямній сканування, передає дані про його поздовжнє і обертове переміщення до блоку 5 обробки отриманої інформації (ЕОМ). Отже, у реалізованій модифікації приладу координати  $X$  та  $Y$  вводяться автоматично, а координата  $Z$  – вручну.

Аналіз методами оцінки залишкових деформацій матеріалу, таких, як метод візуального огляду і безпосереднього вимірювання, метод взяття відбитків і аналізу їх поперечних перетинів показує доцільність вибору методу сканування деформованої і недеформованої поверхні надчутливим механічним щупом [6].

Для визначення самих переміщень щупа в розробленому приладі використана оптична система зчитування. Роздільна здатність сканування переміщень щупа може сягати 2500 точок на дюйм, тобто точність визначення деформацій поверхні матеріалу становить 0,01 мм.

За допомогою світлодіода і системи двох фокусуєчих його світло лінз під датчиком освітлюється ділянка поверхні. Відображене від цієї поверхні світло, в свою чергу, збирається іншою лінзою і потрапляє на світлочутливу матрицю мікросхеми процесора обробки зображень.

Знімки поверхні під датчиком провадяться з частотою 5–8 кГц згідно з програмою опитування та обробки зображення. Застосований оптичний процесор робить знімки поверхні і обробляє їх. Структурно він складається з системи отримання зображення й інтегрованого процесора обробки знімків. На основі аналізу черги послідовних знімків, які являють собою квадратну матрицю із пікселів різної яскравості, процесор вираховує інтегруючі показники, що свідчать про напрямок переміщення датчика вздовж осей  $X$  та  $Y$  і передає результати своєї роботи назовні по послідовному порту.

Ядро системи складає блок – процесор обробки зображень 3 з вбудованим приймачем світлового сигналу (рис. 2).

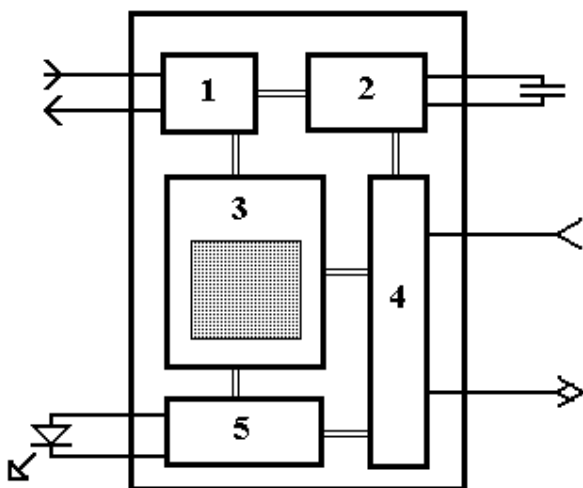


Рис. 2. Схема оптичного датчика переміщень:  
1 – транслятор даних про напрямок переміщення оптичного датчика; 2 – генератор; 3 – процесор обробки зображень; 4 – регулятор напруги й енергоспоживання; 5 – блок керування

Живлення подається до блоку регулювання напруги і контролю енергоспоживання 4. До нього під'єднаний додатковий зовнішній фільтр живлення.

Зовнішній сигнал із задавального кварцового генератора подається на блок генератора 2. Частота вхідного сигналу задається кварцовим резонатором у межах 28–32 МГц. Поверхня під датчиком освітлюється світлодіодом, що регулюється блоком керування 5. Дані про напрямок переміщення оптичного датчика передаються через блок 1. Мікросхема зовнішнього контролера отримує через нього дані із пам'яті оптичного сенсора з частотою один раз за 1 мс. Ініціалізує передачу даних зовнішній мікроконтролер, що визначає оперативність (частоту) слідкування за переміщеннями датчика. Дані від оптичного сенсора передаються пакетами по 56 біт.

Оптимальна відстань від оптичної системи із двох лінз до відбиваючої поверхні під датчиком повинна потрапляти в діапазон від 2,3 до 2,5 мм, що забезпечується конструкцією приладу.

Допустима максимальна швидкість переміщення маніпулятора становить 1 м/с, допустиме прискорення – 15g, тобто 147 м/с<sup>2</sup>.

Програмована швидкість здійснення знімків поверхні оптичним сенсором 6469 кадрів за 1 с. Наступним етапом став вибір оптимальної конструкції щупа, який повинен забезпечувати необхідну жорсткість передачі руху на блок оптичної системи зчитування, а також не спричиняти пошкодження сканованої поверхні. Для зменшення тертя зі сканованою поверхнею ковзання щупа може замінюватися коченням кулькового наконечника, що змащується оливою.

Для оперативної індикації процесу сканування на екрані ЕОМ та збереження даних про переміщення щупа з метою їх подальшої обробки розроблене спеціальне програмне забезпечення.

На рис. 3 зображено вікно інтерфейсу, що виводиться під час сканування поверхні.

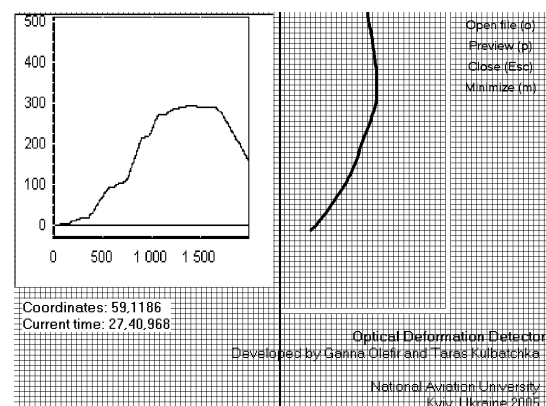


Рис. 3. Уніфікований інтерфейс спеціального програмного середовища для обробки й аналізу залишкових деформацій матеріалу ODD

Відхилення щупа від прямолінійної траєкторії можна спостерігати у різних масштабах.

Координати  $X$  та  $Y$  відображаються на моніторі в цифровій і графічній формах. За їх збереженими значеннями можна проводити розрахунок площі zdeформованої поверхні матеріалу, об'єму деформаційних нерівностей, будувати їх тривимірне зображення, визначати області максимальних і мінімальних деформацій, робити висновки про характеристики матеріалу та аналізувати можливі шляхи оптимізації його структури. Для роботи з приладом під операційну систему Microsoft Windows 98/2000/NT/XP розроблене спеціальне програмне забезпечення ODD.

Зв'язок приладу з комп'ютером може бути як проводимим, так і безпроводим для поліпшення зручності сканування в експлуатаційних умовах, у т. ч. під час проведення вимірювань реальних деформаційних пошкоджень поверхні транспортних засобів.

При проводимому з'єднанні різні модифікації приладу можуть приєднуватися до комп'ютера через порти COM2, PS/2 чи USB, при безпроводимому – через інфрачервоний порт, за допомогою радіозв'язку чи із застосуванням технології Bluetooth.

Згідно з розробленою методикою визначення деформацій складних поверхонь були проведені вимірювання та аналіз різних видів пошкоджень поверхонь і матеріалів. Зокрема, апробоване перспективне використання приладу для сканування поверхонь транспортних засобів після дорожньо-транспортних пригод.

Об'єкт, зображений на рис. 4, має форму кулі.

Багатошаровий композиційний матеріал складався з семи шарів гофрованої вугле-склотканини сатинового сплетення з епоксидним зв'язуючим і заповненої по гофрах піностиролом.

Напрями подальшого вдосконалення приладу полягають в оптимізації його кінематики для збільшення точності сканування, спрощення конструкції і полегшення використання приладу, в т. ч. в автоматизації введення координати  $Z$ , підвищенні роздільної здатності сканування через використання досконалішої оптичної системи зчитування, подальшій автоматизації розрахунків.

Прилад може застосовуватися для кількісної оцінки деформаційних характеристик матеріалів і визначення деформаційних пошкоджень поверхні транспортних засобів, отримання інформації для аналізу структури матеріалу та для порівняльного аналізу різних типів структур, а також для побудови та обробки даних про профіль тривимірно криволінійної поверхні.

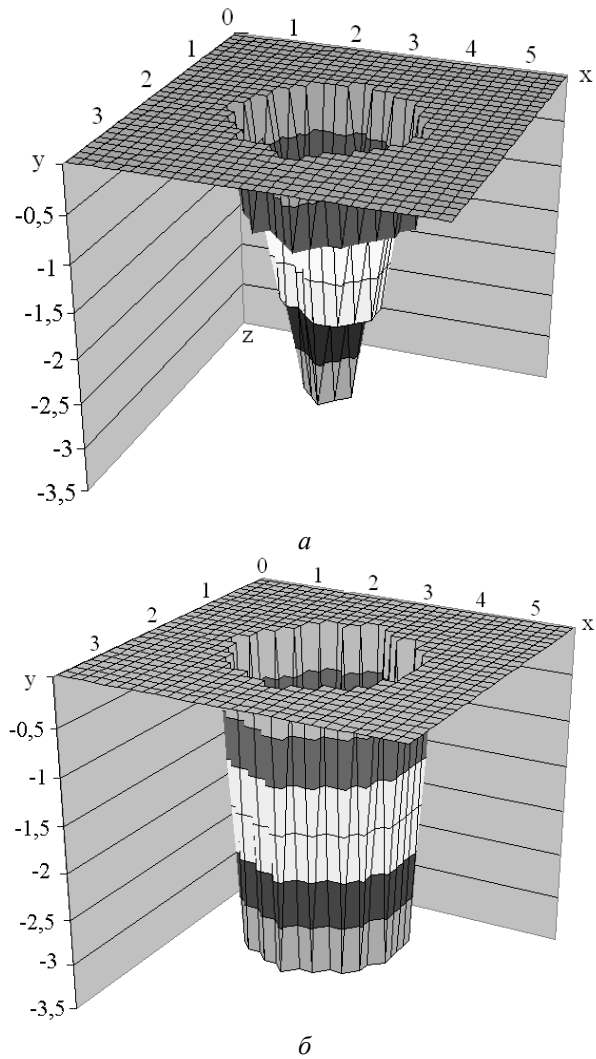


Рис. 4. Графічне зображення результатів вимірювань пошкоджень багатошарової композиційної поверхні:

$a$  – швидкість зіткнення 300 м/с;  $b$  – швидкість зіткнення 450 м/с

## Висновок

Для оперативної кількісної та якісної оцінки комплексних макро- і мікромеханічних пошкоджень поверхонь конструкцій, виготовлених з різних матеріалів, розроблено метод і прилад.

Оптимізована конструкція приладу дозволяє проводити вимірювання у реальних експлуатаційних умовах на реальних об'єктах.

Розроблена конструкція оптичного сенсора переміщень довела свою працездатність у широкому температурному діапазоні та нечутливість до забруднень.

Розроблене програмне забезпечення для середовища Microsoft Windows 98/2000/NT/XP дозволяє не тільки зберігати, але й обробляти інформацію про пошкодження, видаючи результати в цифровій і графічній формах.

## Література

1. *Справочник по композиционным материалам*: В 2-х кн. /Под ред. Дж. Любина; Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1998. – Кн.2. – 584 с.
2. *Створення нового класу полегшених авіаційних конструкцій з полімерних композиційних матеріалів, наукових основ їх проектування, ефективних технологій і сучасної промислової бази з впровадженням розробок у виробництво*/ В.Г. Бондар, В.З. Брагилевський, В.Н. Казуров та ін. – К.: АНТК ім. О.К. Антонова. – 1998. – Т. 2, Ч. 1. – 18 с.
3. *Lubin G. Handbook of fiberglass and advanced plastics composites*. Van Nostrand Reinhold. – New York. 1969. – 969 p.
4. *Hadcock R.N. Joints in Composite Structures // Proc. Conf. Vehicle Design AFFDL-TR-72-13*. – 1972. – P. 791–811.
5. *Болотин В.В., Новичков Ю.Н. Механика многослойных конструкций*. – М.: Машиностроение, 1980. – 376 с.
6. *Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий*: Справ. Под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1976. – 391 с.

Стаття надійшла до редакції 29.11.05.

Предложен метод сравнительной оценки механических повреждений разных материалов и элементов конструкции с помощью разработанного прибора. Принцип действия этого прибора лежит в передаче информации про профиль объемно деформированной поверхности, сосканированной щупом и переведенной в цифровой вид оптической системой считывания, на ЭВМ с дальнейшей её обработкой и анализом в специальном программном обеспечении.

A method of the comparative estimation of mechanical damages of different materials and construction elements with the elaborated device is suggested. The principle of the device's work is a transfer of the information about the profile of the threedimensionally deformed surface, that is scanned with a feeler and represented digitally with an optical reading system, to a computer with its following recalculation and analysis in a special program soft.