

Промышленные испытания разработанных модификаций ВТП в составе вихретокового дефектоскопа «Малыш М» выполнено в условиях Иршанского горно-обогатительного комбината ЗАО «Крымский титан» и энергоблоках № 1 и № 2 Ровенской АЭС при контроле окрашенных сварных швов металлоконструкций и основного металла в околосварных зонах. Испытания подтвердили эффективность ВТП при обнаружении трещин, пор и других повреждений металлоконструкций без удаления краски с индикацией их размеров.

1. Учанин В.Н. Методы количественного вихретокового контроля с определением параметров дефектов // *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. – 2002. № 1. – С. 33-38. 2. Мирошников В.В., Гречишкина Н.В., Комаров Н.В. Дефектоскоп с высоким уровнем чувствительности для контроля протяженных изделий. – 36. науков. праць 5-ї національної н/т конференції «Неруйнівний контроль та технічна діагностика». – К.: УТ НК і

ТД, 2006. – С. 203-205. 3. Шкатов Н.П., Ивченко А.В. Адаптивный вихретоковый дефектоскоп для оценки параметров коррозионных поражений планера вихретоковым методом. – Сб. тезисов докладов 5-й международной выставки и конференции «Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности». – М.: РО НК и ТД, 2006. – С. 39. 4. Себко В.П., Сучков Г.М. Исследование применимости вихретокового контроля металлообъектов с помощью моделирования дефектов // *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. – 2001, № 3. – С. 35-37. 5. Сучков Г.М. Миниатюрный микропроцессорный вихретоковый дефектоскоп с индикатором глубины трещин. – Сб. тезисов докладов ежегодного семинара-выставки «Современные технологии и приборы неразрушающего контроля и технической диагностики». – Харьков, 2003. – С. 67. 6. О'коннор М. Что еще не так просто при вихретоковом контроле теплообменных труб // *В мире неразрушающего контроля*. – 2001. № 4. – С. 46.

УДК 620.179.17

ПОРТАТИВНИЙ ПРИЛАД ДЛЯ АКУСТИКО-ЕМІСІЙНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ НАФТО- І ГАЗОТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ

© Скальський В. Р., Оліярник Б. О., Плахтій Р. М., Сулим Р. І., 2006
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів

На підставі бази даних експериментальних досліджень низки конструкційних матеріалів створено портативний восьмиканальний прилад для акустико-емісійного діагностування обладнання нафто- і газотранспортного комплексу. Розглядаються аспекти побудови основних вузлів і блоків, описано оригінальні схемотехнічні та конструкційні підходи до розв'язання науково-технічних задач, що дозволили досягнути оптимальних технічних характеристик приладу

В Україні проблема технічного діагностування (ТД) та неруйнівного контролю (НК) великогабаритних об'єктів довготривалої експлуатації, зокрема, обладнання нафто- і газотранспортного комплексу з кожним днем стає все гострішою. Деякі з цих об'єктів вичерпали свій регламентований ресурс. На забезпечення їх безаварійної роботи направлені розробки нових перспективних методів і засобів НК. Важливе місце тут відводиться методологічній базі, яка базується на застосуванні явища акустичної емісії (АЕ).

Особливістю апаратури для проведення АЕ-досліджень є її універсальність, що дає змогу діагностувати стан будь-яких виробів чи елементів конструкцій незалежно від їх форми та розмірів, віддалі до об'єкта контролю (ОК) тощо.

Якщо систематизувати відомі літературні дані, то всі АЕ-засоби можна класифікувати так [7,9]: 1 – для комплексних досліджень; 2 – спеціалізованого призначення; 3 – для контролю стану великогабаритних об'єктів; 4 – портативні одно- і багатоканальні.

Необхідно виокремити те, що зі швидким розвитком сучасної електроніки більшість АЕ-засобів вже давно фізично і морально застаріли. В Україні взагалі відсутнє промислове виробництво будь-якої АЕ-апаратури, тому сьогодні гостро відчувається потреба створення портативних багатоканальних засобів АЕ-діагностування, які можна легко уніфікувати, використовуючи сучасні персональні комп'ютери (ПК) типу Note Book. Особлива актуальність проблеми зумовлена ще й тим, що нещодавно Держспоживстандартом України введено в дію нормативний документ [5], який регламентує проведення АЕ-контролю об'єктів підвищеної небезпеки, в тому числі і обладнання нафто- і газотранспортного комплексу.

Відомі деякі розробки портативних АЕ-засобів, які виготовлені в одиничних макетних варіантах в Україні [6, 8, 10, 12] та в обмежених кількостях поза її межами [13-15]. Серед таких засобів необхідно відзначити розробки, що здійснені у Фізико-механічному інституті НАН України [6, 8, 10].

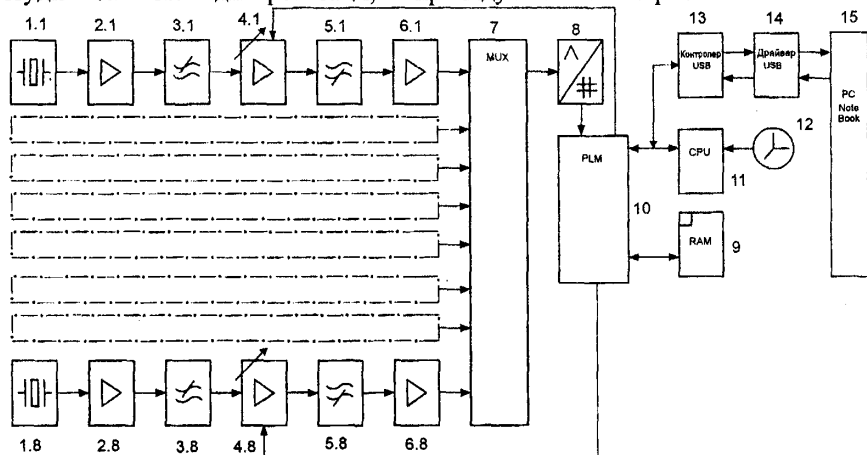
Відомий також портативний накопичувач вибірок сигналів АЕ SVR-6 [10], що призначений для реєстрації сигналів АЕ по 4-х каналах у лабораторних, виробничих і польових умовах обстежень ОК та передачі записаної (накопиченої) інформації на комп'ютер для подальшої її обробки чи зберігання. Прилад забезпечує відбір сигналів АЕ на фоні завад за допомогою частотної та амплітудної селекції, виділення абсолютного значення максимальної амплітуди за час дискретизації,

аналого-цифрове перетворення, часову прив'язку і збереження вибірок в енергонезалежному запам'ятовуючому пристрої.

Його модернізований варіант СК-7 [8] має кращі технічні характеристики: забезпечує виділення, відбір, первинну обробку і збереження у Flash-пам'яті сигналів АЕ, їх візуалізацію, необхідну вторинну обробку, передачу інтерфейсом в персональний комп'ютер. Засоби самоконтролю приладу забезпечують тестування пам'яті, звукову індикацію її переповнення, контроль якості фіксації первинних п'єзоперетворювачів сигналів АЕ (ПАЕ), цифрову індикацію напруги акумуляторної батареї, візуальну індикацію її розрядження та автоматичне вимкнення за глибокого розряду. Програмне забезпечення приладу СК-7 виконане в діалоговому режимі згідно зі стандартною технологією і працює в середовищі операційної системи Windows 95/98 і вище.

Авторами на основі нових концептуальних підходів та використання сучасної елементної бази розроблений портативний восьмиканальний прилад АЕ для відбору та обробки сигналів АЕ-діагностування відповідальних елементів та конструкцій нафто- і газотранспортного комплексу, який сумісний з ПК нового покоління.

В основу створення приладу АЕ покладено як оригінальні розробки та експериментальні результати отримані авторами [1-4, 9, 11], так і відомі з літературних джерел. Концепція побудови приладу показана на рис. 1.



1 – первинний п'єзоперетворювач сигналів АЕ (ПАЕ); 2 – попередній підсилювач (ПП); 3 – фільтр низьких частот (ФНЧ); 4 – підсилювач з програмованим коефіцієнтом підсилення; 5 – фільтр високих частот (ФВЧ); 6 – масштабний підсилювач; 7 – комутатор; 8 – аналого-цифровий перетворювач (АЦП); 9 – оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП); 10 – програмована логічна інтегральна схема (ПЛІС); 11 – мікроконтролер; 12 – годинник; 13 – контролер USB; 14 – драйвер обміну з ПК; 15 – ПК типу Note Book

Рис. 1. Блок-схема портативного 8-ми канального приладу АЕ

Приладом здійснюють реєстрацію сигналів акустичної емісії (САЕ) по восьми незалежних

інформаційних сигнальних каналах і в момент приходу САЕ, що перевищує встановлений

пороговий рівень шумів, по будь-якому з восьми каналів починається запис сигналів АЕ в цифровому форматі на всіх каналах з часовою прив'язкою у кожному. Отримана інформація візуалізується на дисплеї ПК у реальному масштабі часу.

Спочатку САЕ проходять відповідну обробку в аналоговому тракті приладу. Концепція його побудови та технічні характеристики описані у праці [1].

Для підсилення електричних сигналів з виходу ПАЕ розроблено попередній підсилювач (ПП), що встановлюється поблизу ПАЕ. Він призначений для формування основної смуги пропускання та компенсації втрат сигналу у з'єднувальних кабелях. Розроблений ПП виконаний із застосуванням операційних підсилювачів (ОП) фірми "Analog Devices". Вказані ОП відзначаються високим вхідним опором, малим рівнем шумів, малою споживаною потужністю і призначені для роботи з сигналами малого рівня. Живлення ПП здійснюється кабелем через вихідний роз'єм.

Формування робочої смуги частот відбувається за допомогою фільтрів ФНЧ та ФВЧ. Фільтри виконані у вигляді активних фільтрів Баттерворта 2-го порядку з комутованими частотами зрізу. Для комутації частот зрізу використовується швидкодіючий комутатор фірми "Analog Devices". Управління комутатором здійснюється за командою процесора через цифрову шину. Для основного підсилення корисного сигналу в смузі робочих частот використали підсилювачі з програмованим коефіцієнтом підсилення фірми "Microchip". Вони не потребують зовнішньої об'язки та зворотних зв'язків. Управління коефіцієнтом підсилення відбувається програмно, командами процесора по послідовному інтерфейсу SPI. Коефіцієнт підсилення може приймати 8 фіксованих значень від 1 до 32. По послідовному інтерфейсу може бути встановлений режим енергозбереження протягом часу, коли підсилювач не використовується [1, 3].

Призначення та принцип роботи основних вузлів та блоків цифрової обробки САЕ у приладі АЕ є такими [2]: сигнал АЕ, виділений і підсилений в аналоговому тракті подається на 4-х каналний комутатор. У залежності від кількості аналогових каналів застосовують різну кількість комутаторів. На вхід комутатора подають сигнали з кожного аналогового каналу, а виходи під'єднані до АЦП. За командою процесора один із входів комутатора за чергою під'єднується до входу АЦП. Команди на комутатор подаються по цифровій шині від ПЛІС.

У приладі використано швидкодіючі комутатори фірми "Analog Devices", що виготовлені за перспективною субмікронною технологією, що дозволило суттєво зменшити розміри інтегрованих елементів та зв'язків між ними. У результаті вдалося

зменшити перехідний опір комутатора та споживану потужність, а також збільшити його швидкодію, зменшити габаритні розміри приладу.

АЦП служить для перетворення вхідних аналогових сигналів кожного каналу у цифрову форму для подальшої обробки та збереження в пам'яті. У приладі використано швидкодіючий АЦП фірми "Analog Devices". Це паралельний 12-ти розрядний АЦП конвеєрного типу з періодом дискретизації 125 нс.

Для підвищення завадостійкості вхідний каскад АЦП виконаний у вигляді диференційного підсилювача із запам'ятовуванням сигналу. Сигнал на час дискретизації запам'ятовується на конденсаторах, а вхід АЦП відключається від загальної схеми. Таким чином, АЦП за чергою оцифровує сигнали з кожного каналу. Період дискретизації задається командами процесора через ПЛІС. Цифровий код, що відповідає аналоговому сигналу, з виходу АЦП через шинні формувачі надходить для запису на оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП).

Для формування сигналів управління аналоговим трактом, комутатором та забезпечення запису даних в ОЗП, накопичення і доступу до них зі сторони мікропроцесора служить програмована логічна інтегральна схема (ПЛІС).

У приладі використано ПЛІС фірми "Xilinx". Мікросхеми цього типу застосовують для створення нестандартних арифметико-логічних пристроїв, дешифраторів, мультиплексорів тощо. Мікросхема представляє собою підсистему, що складається з 8-ми функціональних блоків (ФБ), блоку вводу-виводу (БВВ), з'єднаних переключаючою матрицею (ПМ).

Під час ввімкнення мікросхеми (МС) всі регістри переводяться в початковий стан, запрограмований користувачем. Якщо початковий стан не заданий, то регістри встановлюються в нуль. БВВ виконує функцію інтерфейсу між внутрішніми логічними сигналами та контактами МС. Він може працювати з сигналами, що мають стандартні КМОП або ТТЛ рівні. У мікросхемі є можливість керування тривалістю фронту вихідного сигналу для кожного вихідного буфера, що дозволяє, за необхідності, зменшити рівень перешкод на виходах МС за рахунок незначного зменшення швидкодії.

ПЛІС, яка використана в даній розробці, має архітектурні особливості, які дозволяють вносити зміни в схему, не змінюючи призначення виводів. Це дає розробнику впевненість в тому, що призначення вхідних та вихідних контактів залишиться незмінним за будь-яких непередбачених змін принципової схеми і проводити розробку друкованої плати. МС програмується в системі через стандартний JTAG-інтерфейс. Таке програмування дозволяє швидко і ефективно вносити зміни в програму і в результаті

чого немає необхідності виймати мікросхему з розробленого приладу.

Використовуються методи захисту схеми від несанкціонованого зчитування і випадкового стирання. Захист від зчитування (код секретності) встановлюється користувачем для виключення можливості зчитування чи копіювання схеми. МС забезпечує можливість встановлення режиму економічного енергоспоживання не тільки для всієї схеми, але й для вибраних користувачем МК, що дозволяє суттєво знизити енергоспоживання МС в цілому.

Роботою приладу керує 8-ми розрядний високопродуктивний мікроконтролер фірми "Atmel". Він забезпечує синхронізацію роботи всієї системи, прийом команд від персонального комп'ютера, обробку і видачу сигналів управління для вузлів приладу, формує кадри передавання даних і доповнює їх часом виникнення події. Розвинена архітектура процесора дозволяє підтримувати 133 потужні інструкції. В склад мікроконтролера входять 32 регістри загального призначення що безпосередньо приєднані до арифметично-логічного пристрою. Система команд процесора дозволяє одночасний доступ до 2-х незалежних регістрів, що суттєво збільшує його продуктивність.

Для організації обміну даними з персональним комп'ютером використовується мікросхема контролера і прийомо-передавача послідовного серійного інтерфейсу USB фірми "FTDI". Вказана мікросхема забезпечує перетворення даних паралельного порту приладу в послідовні дані для передачі через порт USB на персональний комп'ютер і навпаки. Завдяки використанню помножувача тактової частоти вдалося значно підняти швидкість обміну даними. Всі дані заносяться на жорсткий диск персонального комп'ютера типу Note Book, де відбувається їх аналіз і обробка. За допомогою комп'ютера здійснюється керування приладом. З нього може встановлюватися кількість каналів обробки події, час дискретизації сигналів, задаватися необхідне підсилення каналів, поріг рівня шуму і смуга пропускання. У приладі також є 3 додаткові автономні канали для одночасної реєстрації під час випробувань ОК чи їх НК таких важливих параметрів як температура, тиск, деформація тощо.

В основу розробки програмного забезпечення (ПЗ) приладу покладено деякі алгоритми обробки САЕ як портативних АЕ-засобів – аналогів, що раніше були створені у ФМІ НАНУ, так і передових світових виробників таких засобів. ПЗ задовольняє необхідні стандартні вимоги щодо обробки сигналів АЕ та має такі характеристики [11]: робота приладу в двох режимах (в режимі реального часу та в режимі постобробки даних); збереження даних на жорсткому диску в файлах із спеціальним розширенням; робота

одночасно з декількома файлами; наявність спеціальних програмних фільтрів для відбору справжніх САЕ; можливості для графічного представлення зібраної інформації; розвинені функції відображення графічних представлень та друку звітів; наявність засобів відображення форми сигналу; функції цифрової обробки сигналів, що включають одержання коефіцієнтів Фур'є, амплітудної та фазової характеристик.

ПЗ побудоване на принципах об'єктно-орієнтованого програмування. Це дало змогу працювати з даними як з об'єктами, а також дозволило створити та застосувати для обробки АЕ-даних широкий набір методів.

Створено декілька додаткових класів, які були необхідні для обробки параметрів САЕ. Зокрема, для роботи з модулем пам'яті використовується компонент класу TDirectPort, який призначений для зчитування даних в режимі реального часу.

Для реалізації можливості працювати одночасно з декількома виборками даних та паралельно переглядати інформацію у графічному та таблично-статистичному представленні використана MDI-технологія. За цією технологією в клієнтській області головного вікна програми користувач має можливість відкривати довільну кількість дочірніх вікон. Саме в такому форматі побудовані сучасні програми збору та обробки АЕ-інформації [4].

Особливості конструктивного виконання приладу полягають у наступному. Для зменшення габаритів, ваги та вартості приладу, підвищення вібробезпечності під час виготовлення інтегрованої плати широко використовували SMD елементи.

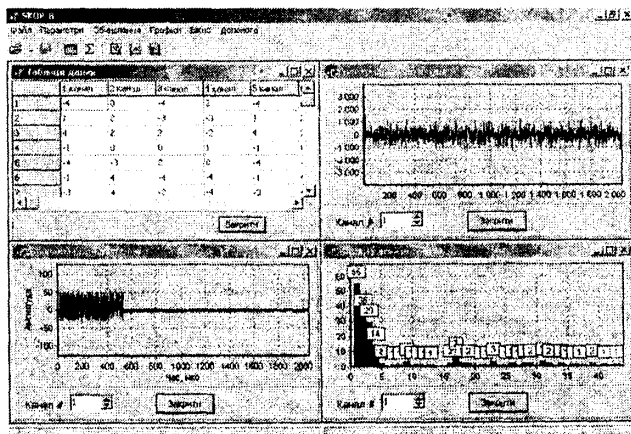


Рис.2. Представлення АЕ-інформації у табличному та графічному виглядах

У результаті одержали такі габаритні розміри плати: 340×215×12 мм, а вага її становить 310 г. Прилад має вигляд окремого функціонального блоку (модуля), який можна використовувати як з ПК типу Note Book, так і з іншими ПК. Такий підхід до

конструкції модуля (приладу) дозволяє використовувати його як у лабораторних дослідженнях, так і в польових та виробничих умовах під час проведення НК об'єктів нафто- і газотранспортного комплексу. Габарити модуля: 370×256×30 мм; вага – 2,16 кг.

Конструктивно завершеними і автономними складовими є також ПП та дистанційний кабельний підсилювач. Перший використовують під час проведення досліджень із довжиною сигнального кабелю від ПАЕ до ПП меншою 100 м, другий – за довжини кабелю більше 100 м.

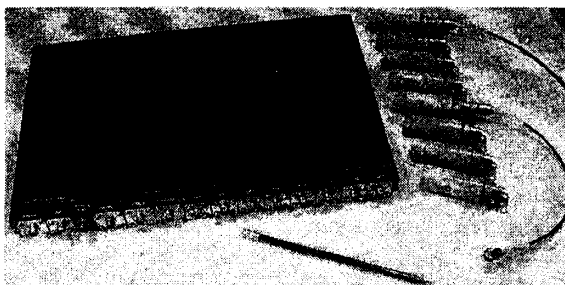


Рис. 3. Загальний вигляд модуля приладу АЕ та ПП

Основні технічні характеристики приладу АЕ:

- кількість вхідних каналів8;
- кількість вхідних каналів додаткової інформації3;
- коефіцієнт нелінійних спотворень кожного каналуне більше 2%;
- неідентичність коефіцієнтів передачі каналівне більше 3%;
- діапазон робочих частот АЕ-каналу100 кГц – 800 кГц;
- частота зрізу фільтра ФВЧ:100; 200 300 кГц;
- частота зрізу фільтра ФНЧ:400, 600, 800 кГц;
- вхідний опір ППне менше 1 Мом;
- рівень шумів АЕ-каналу приведених до входуне більше 1мкВ;
- точність вимірювання по кожному каналу1%;
- розрядність АЦП12 розрядів;
- період дискретизації для АЕ-каналівне більше 500 нс,
- період дискретизації для низькочастотних каналівне більше 100 мкс;
- похибкане гірше 1 дискрета АЦП.

Розроблено концепцію побудови та виконання основних вузлів портативного АЕ-приладу сумісного з персональним комп'ютером типу Note Book з використанням сучасної елементної бази та схемотехнічних рішень.

Технічні характеристики приладу відповідають сучасним світовим аналогам як за рівнем технічних характеристик, так і за програмним забезпеченням.

Дану розробку можна без особливих капіталовкладень запровадити у серійне виробництво в Україні, що дозволить підвищити ефективність діагностування виробів і споруд, особливо об'єктів довготривалої експлуатації та підвищеної небезпеки, зокрема об'єктів нафто- і газотранспортних комплексів.

1. Аналоговий тракт відбору і обробки сигналів акустичної емісії / В.Р. Скальський, Б.О. Оліярник, Р.М. Плахтій, Р.І. Сулим // *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. – 2006, №1. 2. Блоки цифрової обробки сигналів акустичної емісії / В.Р. Скальський, Б.О. Оліярник, Р.М. Плахтій, Р.І. Сулим // *Вісник Національного університету „Львівська політехніка” Автоматика, вимірювання та керування*. – 2005, №530. – С. 162 – 170. 3. Восьмиканальний портативний прилад акустичної емісії / В.Р. Скальський, Б.О. Оліярник, Р.М. Плахтій, Р.І. Сулим // *Вісник Національного університету „Львівська політехніка” Радіоелектроніка та телекомунікації*. – 2005, №534. – С. 54 – 63. 4. Деякі аспекти програмного забезпечення приладів акустичної емісії / В.Р. Скальський, Б.О. Оліярник, Р.І. Сулим, Р.М. Плахтій // *Вісник Національного університету „Львівська політехніка” Автоматика, вимірювання та керування*. – 2005, №531. – (у друці). 5. ДСТУ 4227-2003. Настанови щодо проведення акустико-емісійного діагностування об'єктів підвищеної небезпеки. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 26 с. 6. Скальський В.Р. Прибор для регистрации сигналов акустической эмиссии СВР-4 // *Технич. диагностика и неразрушающий контроль*. – 1995, № 1. – С. 71–79. 7. Скальський В.Р., Демчика Б.Г., Карпукін І.І. Руйнування бетонів і акустична емісія (Огляд). Повідомлення 2. Корозія залізобетону. Апаратурні засоби. АЕ – контроль та діагностика будівельних споруд // *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. – 2000, №2. – С.9 – 27. 8. Скальський В. Р. Карпукін І.І. Модернізований портативний накопичувач виборок сигналів акустичної емісії СК-7 // *Зб. наук. праць ФМІ НАН України “Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів”*. – Київ – Львів, 2002, Вип.7. – С.77 – 82. 9. Скальський В.Р., Коваль П.М. Акустична емісія під час руйнування матеріалів, виробів і конструкцій. Методологічні аспекти відбору та обробки інформації. – Львів, Сполом, 2005. – 396 с. 10. Скальський В.Р., Пустовой В.М., Бархан А. Портативний накопичувач виборок сигналів акустичної емісії SVR – 6. // *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. – 1999, №3. – С.35 – 46. 11. Сулим Р.І. Програмне забезпечення приладу акустичної емісії SKOP-8 // *Зб. праць XIX-ї відкритої наук.-техн. конфер. молодих вчен. і спец.*

ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАНУ „КМН-2005”. – Львів, 2005. – С. 427 – 428. 12. Филоненко С.Ф. Акустическая эмиссия. Измерения, контроль, диагностика. – К.: КНУЦА, 1999. – 304 с. 13. Ямазучі К. Системи акустико-емісійного контролю. // Хіхакай кенса. – 1988, № 6. – С. 498 – 502. 14. CGR

Locamat: Multichannel acoustic emission source localization system / Prospect of Corporation CGR.– Paris, 1982. – 12 p. 15. MISTRAS 2001. AEDSP-32/16. User's manual. –Rev. 1. PAC Part Number 6300-1000, 1995. –300 p.

УДК 621.762:620.179.1

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДЕФЕКТІВ СТРУКТУРИ КОМПОЗИТІВ $Al-SiC$ МЕТОДАМИ АКУСТИЧНОЇ РЕЗОНАНСНОЇ СПЕКТРОСКОПІЇ

© Супруненко¹ М.О., Вдовиченко² О.В., Протасов¹ А.Г., 2006

¹Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”

²Інститут проблем матеріалознавства ім.І.М. Францевича НАН України, м.Київ

Приведені результати експериментального дослідження композитних матеріалів з алюмінієвою матрицею, зміцнених частинками карбіду кремнію. Дослідження проводилися резонансною ультразвуковою спектроскопією. Показано, що збільшення матричного розміру частинки зменшує модуль пружності композита в результаті наявних дефектів (пор і недосконалих контактів) у сформованих в агломератах частинок кераміки

Композитні матеріали з алюмінієвою матрицею, що зміцнені частинками карбіду кремнію, привертають увагу розробників автомобільної та авіаційної техніки завдяки їх підвищених характеристик питомих пружності та міцності в порівнянні з базовими сплавами [1]. Використання прогресивних методів порошкової металургії робить ці матеріали комерційно привабливими через порівняно низьку вартість їх виготовлення та можливість одержання матеріалів з унікальними комбінаціями властивостей. Проте матеріали, виготовлені з порошоків, обов'язково містять специфічні макродефекти, що зумовлені самим способом їх одержання, а саме наявністю об'ємних пор і двовимірних недосконалих міжчасткових контактів [2]. Ці макродефекти істотно впливають на експлуатаційні властивості виробів, тому неруйнівний контроль під час виготовлення є вирішальною операцією. В останні роки набула широкого розповсюдження резонансна акустична (або ультразвукова) спектроскопія (РУС). Вона полягає в експериментальному визначенні характеристик механічного резонансу (частот власних коливань зразків, ширини резонансної кривої) і подальшому розрахунку тензору пружності монокристалів та полікристалічних матеріалів [2, 3]. Методи РУС застосовують також для дослідження структури матеріалів, включно з композитними та порошковими матеріалами [4, 5].

Дана робота присвячена визначенню дефектності композитів $Al-SiC$ методом РУС.

Було досліджено композити, виготовлені екструзією з витяжкою (відношенням початкового діаметру заготовки до діаметру зразка після екструзії) 17:1 з порошоків швидкозагартованого сплаву $Al-6\%Si-0,4\%Mn$ (мас.) та карбіду кремнію при температурі 400°C. Подробиці технології виготовлення наведено в роботі [7]. Об'ємний вміст SiC в композиті змінювали від 5 до 20%, середній розмір частинок металевого порошоків становив 40...180 мкм для різних груп матеріалів, а керамічних частинок – 3...14 мкм. Для усунення дефектів, що містились на поверхнях, зразки після екструзії фрезерували до розмірів 50x5x3 мм.

Густину зразків визначали методом гідростатичного зважування, а мікроструктуру вивчали за допомогою оптичного мікроскопу на шліфах, виготовлених на поздовжніх перерізах зразків.

Всі ультразвукові вимірювання проводили в частотному діапазоні 10...200 кГц, тому вплив структурного розсіювання ультразвукової хвилі був мінімальним. Визначені характеристики відображають інтегральний відгук зразка на акустичне збудження і зумовлені інтегральними властивостями композитів.

Схема резонансних вимірювань зображена на рис.1. Досліджуваний зразок встановлювали між двома п'єзоелектричними перетворювачами таким чином, щоб контакт був у двох точках (кутах зразка), і знімали резонансний відгук зразка. Для забезпечення акустичного контакту між торцями