

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СИГНАЛІВ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ДІАГНОСТИЧНОГО СУПРОВОДУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

В статті проведено аналіз методу акустичної емісії, на основі дослідження утворення, розповсюдження та складових самого інформаційного сигналу. Розглянуто формування найпростішого типу хвилі від акустично-емісійного джерела, та зміну її форми при поширенні в середовищі матеріалу і при перетворенні датчиком. Наведені основні причини від яких залежить форма зареєстрованого сигналу. Встановлено, які елементи інформаційно-діагностичної системи створюють акустичні шуми. Розглянуті складові параметри інформаційного сигналу акустичної емісії та дано характеристика їх для конкретних цілей вимірювання. Наведені основні способи відображення інформаційних параметрів акустичної емісії та наведені їх приклади. Сформовані рекомендації та висновки щодо застосування сигналів акустичної емісії для інформаційно-діагностичного супроводу технологічних процесів.

Ключові слова: інформаційний сигнал, акустична емісія, параметри сигналу.

У традиційному уявленні метод акустичної емісії (AE) відноситься до пасивних, які засновані на реєстрації і аналізі виникаючих ультразвукових пружних хвиль з твердого тіла (матеріалу) в результаті локальних мікродинамічних впливів на його структуру. Специфікою даного методу є те, що на відміну від активних методів, які реєструють вже існуючі дефекти, він дозволяє реєструвати сам процес утворення дефектів, в тому числі і в реальному часі, тобто джерелом сигналу служить сам матеріал, а не зовнішнє джерело. Разом з тим метод AE знайшов нові сфери застосування, пов'язані з діагностикою та експрес вибором параметрів режимів різання матеріалів токарною і фрезерною [1, 2], ультразвуковою [3] і лазерною [3] обробкою.

Для застосування методу акустичної емісії у виробництві необхідно встановити, які складові сигналу найбільш повно характеризують технологічний процес.

Найпростіший тип хвилі від AE джерела представлений на рис.1. Хвильове зміщення являє собою функцію близьку до ступінчастої. Напруження, яке відповідає зміщення, має форму імпульсу, ширина і висота якого залежать від динаміки процесу випромінювання. Амплітуда і енергія початкового імпульсу AE може змінюватися в широкому діапазоні в залежності від типу джерела акустичної емісії. Хвilia (імпульс), яка зародилася, поширюється від джерела у всіх напрямках, при цьому поширення відповідно до природи джерела може носити яскраво виражений анізотропний характер, як показано на рис.2.

Форма первинної хвилі зазнає суттєвих змін при поширенні в середовищі матеріалу і при перетворенні датчиком, тому сигнал, що прийшов з датчика, досить віддалено нагадує вихідний сигнал від джерела. Така зміна форми AE сигналу є важливою проблемою, з якою доводиться стикатися при дослідженнях функції джерела.

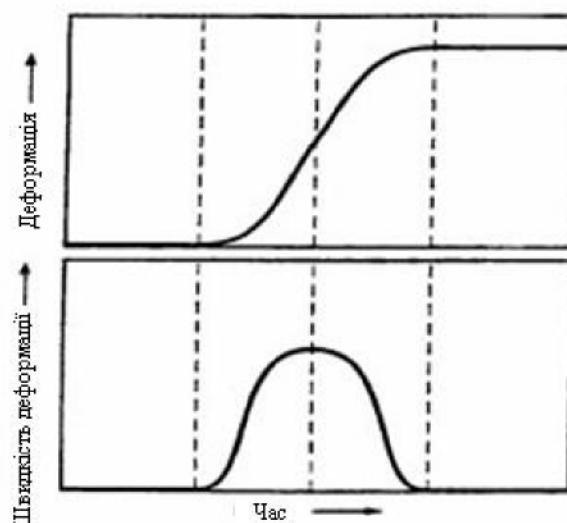


Рис. 1. Найпростіший тип хвилі AE

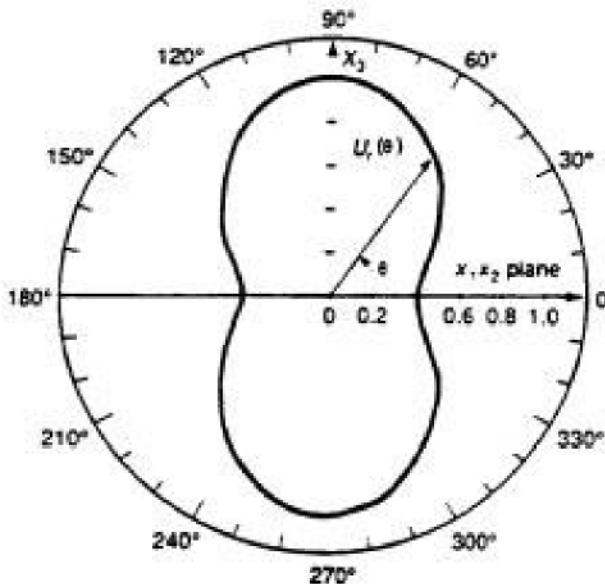


Рис. 2. Кутова залежність АЕ від напряму поширення джерела

У той час як аналіз функції джерела в більшості випадків ґрунтуються на дослідженнях лише початкової частини сигналу, технологія АЕ дозволяє реєструвати сигнал цілком. Частина сигналу, яка наступна за початковою, складається з багатьох хвильових компонент, які поширились до датчика за різними шляхами. Зазвичай максимум амплітуди сигналу формується не першою хвильовою компонентою, а в результаті інтерференції кількох наступних компонент. Перш, ніж АЕ хвиля загасне в середовищі, вона багато разів збуджує датчик.

Таким чином, необхідно розуміти, що форма зареєстрованого сигналу є в значній мірі результатом хвильового поширення. Інші важливі аспекти поширення пов'язані з ефектом загасання, а також зі швидкістю поширення. Загасання визначається зниженням амплітуди сигналу в результаті геометричної розбіжності хвилі і наявності дисипації енергії хвилі в матеріалі [3]. Загасання впливає на можливість реєстрації і тому є важливим фактором, який необхідно враховувати при виборі відстаней між прийомними датчиками. Зазвичай, перш ніж проводити АЕ дослідження, на контролюваному об'єкті вимірюють функцію загасання, по якій визначають оптимальну відстань між датчиками.

Швидкість поширення хвилі є ще одним фактором, який необхідно враховувати при локації джерела методом АЕ.

Існує кілька основних принципів локації. Перш за все - це зонна локація, при якій джерела відносять до порівняно великим за площею зон (оточуючим певні датчики). Другий спосіб - точкова локація, при якій координати джерела розраховуються досить точно за допомогою різниць часу приходу (РЧП) сигналів на різні датчики, які об'єднані в антенну. При розрахунках в формулу локації в якості параметра вводиться швидкість поширення хвилі. Точність, яка досягається в розрахунках контролюється цим параметром. Саме ці фактори сприяють неточності в оцінці швидкості поширення хвиль, що в свою чергу призводить до помилок визначення координат джерела. У сприятливих випадках похибка локації може досягати 1% від відстані між датчиками, в несприятливих - 10% .

У доповненні до вже перерахованих факторів істотний вплив на форму сигналу надає сам датчик. Коли широкосмуговий сигнал емісії впливає на резонансний датчик, в результаті виходить ефект дзвіночка, який дзвенить на певній частоті, незалежно від способу свого збудження. Таким чином, на форму сигналу на виході датчика одночасно впливають багато чинників: шляхи поширення хвиль, наявність різних мод, що поширяються з різними швидкостями і ефект перетворення входного сигналу датчиком. Типовий сигнал емісії на виході резонансного датчика наведений на рис. 3; не можна не побачити величезного відмінності між цим сигналом, який спостерігається і найпростішим сигналом, що згенерований джерелом АЕ (рис.1).

Шляхом вибору резонансного датчика, що володіє заданими частотними властивостями, можна контролювати робочу смугу частот. Регулювання смуги частот є корисним інструментом, за допомогою якого можна з одного боку налаштовувати пристрій на корисну частоту, а з іншого – збільшувати відношення сигнал / шум.

Сигнал з датчика надходить на попередній підсилювач, призначений для посилення

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

сигналу. Попередній підсилювач розташований поблизу або навіть всередині датчика з метою мінімізації електромагнітних наведень. Він володіє широким динамічним діапазоном і, посилюючи сигнал, створює можливість передачі його по довгих кабелях таким чином, що приймальна апаратура може розташовуватися на відстані в сотні метрів від місця проведення контролю.

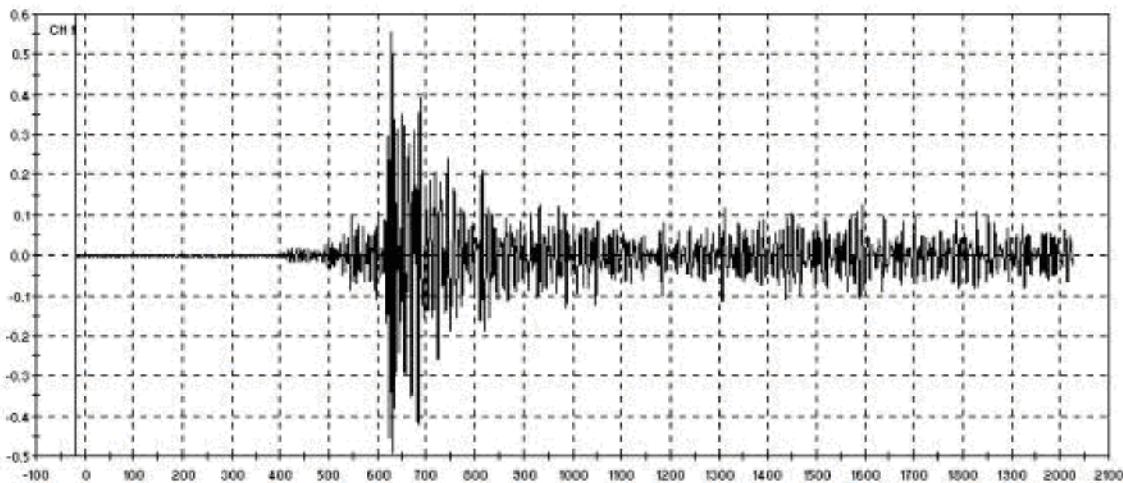


Рис. 3. Типовий імпульсний сигнал АЕ

Зазвичай попередній підсилювач має посилення 100 раз (40 дБ) і включає ФНЧ або смуговий фільтр для зниження механічних і акустичних фонових шумів, які переважають на низьких частотах. На низьких частотах з'являються проблеми, пов'язані з ростом механічних шумів, а високі частоти сильніше загасають, що призводить до зменшення відстані між датчиками. Таким чином, вибір робочої частоти обмежений зверху і знизу.

Попередні підсилювачі, як відомо, самі є джерелами електронного шуму, і саме цей шум визначає нижню межу застосовності методу АЕ. Мінімальний сигнал, який можна зареєструвати апаратурою, має порядок 10 мкВ на виході датчика.

Після того, як сигнал був прийнятий датчиком і підсилиний попереднім підсилювачем, він надходить в основну систему, де знову посилюється і фільтрується. На наступному важливому етапі відбувається безпосередньо виділення сигналу. Етап закінчується тим, що коли сигнал перевищує встановлений поріг, в компораторному ланцюзі в цифровому вигляді генерується вихідний імпульс. Зв'язок між сигналом, порогом і імпульсом з компаратора проілюстрована на рис. 4. Рівень порога зазвичай регулюється оператором; цей параметр є ключовою змінною, яка визначає чутливість АЕ. Крім того, в залежності від типу АЕ обладнання, чутливість можна контролювати шляхом регулювання посилення основного підсилювача.

Найбільш простий і випробуваний спосіб оцінки активності емісії полягає в підрахунку числа осциляцій (counts) - числа перетинів імпульсом, виданими компаратором, встановленого порога. (рис.4).

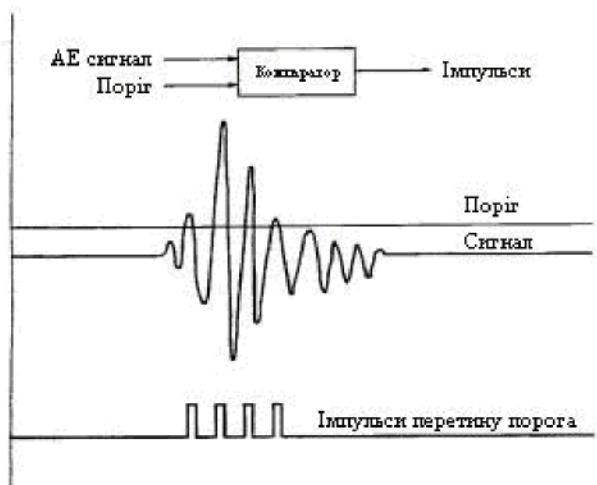


Рис. 4. Принцип реєстрації АЕ сигналу

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

Параметр осциляцій представляється у вигляді функції часу / навантаження. Це уявлення може носити характер накопиченого числа осциляцій від відповідного аргументу, або даватися в диференційному вигляді (гістограми).

Розвиток АЕ технології співпало з розвитком комп'ютерної техніки. Спочатку можливості комп'ютера використовувалися в багатоканальних АЕ системах, для вирішення завдання локації джерел сигналів, потім комп'ютери стали застосовуватися в ширших цілях: зберігання, аналіз і відображення даних. Одночасно персонал, який займається проведенням АЕ випробувань, почав цікавитися іншими параметрами емісії, крім осциляцій, які дозволяла отримувати АЕ апаратура. Це привело до появи нових принципів розробки АЕ обладнання, які до сих пір є домінуючими в технології. Ці принципи полягають у вимірюванні основних параметрів кожного хіта або кожної події, що перевищує поріг. Після оцифровки інформація передається в комп'ютерну систему, що забезпечує зберігання, графічного представлення і подальшого аналізу даних.

Існує п'ять найбільш широко використовуваних параметрів. До них відносяться число осциляцій, амплітуда, тривалість, час наростання сигналу і площа під обвідною сигналу (MARSE), що представляє собою аналог енергії (рис.5). У деяких тестах використовується менша кількість параметрів, в інших - додаткові параметри, наприклад, реальна енергія, число осциляцій до пікової амплітуди, середня частота, спектральний момент.

При описі хіта крім параметрів сигналу в пам'ять комп'ютера записується також час реєстрації хіта і інформація про зовнішні параметри процесу, наприклад, поточне значення навантаження (деформації), число циклів при втомних випробуваннях, поточний рівень фонового шуму і інші. Опис одного хіта зазвичай займає від 20 до 40 байт.

Амплітуда (A) являє собою максимальне значення напруги сигналу вимірюється в вольтах. Цей найважливіший параметр визначає можливість реєстрації АЕ події. Амплітуди сигналів прямо пов'язані з магнітудою подій в джерелі і варіюються в широких межах від мікровольт до вольт. Серед інших стандартних параметрів, амплітуда є найбільш придатною для проведення статистичної обробки даних АЕ шляхом отримання функцій розподілу процесу [3, 4]. Число осциляцій є число перевищень сигналом встановленого порога. Вимірювання числа осциляцій є простим способом кількісної оцінки сигналу. Цей параметр залежить від магнітуди джерела сигналів, а також від акустичних та резонансних властивостей середовища і датчика.

MARSE - параметр, відомий також як число осциляцій енергії, обчислюється по площі під обвідною сигналу. Параметр MARSE є чутливим і до амплітуди, і до тривалості сигналу, тому він став дуже поширеним. Крім того, він менш залежний від встановленого порога і робочої частоти. Сумарна АЕ активність повинна вимірюватися шляхом підсумовування магнітуд всіх зареєстрованих сигналів; серед всіх вимірюваних параметрів, MARSE найкращим чином підходить для цих цілей.

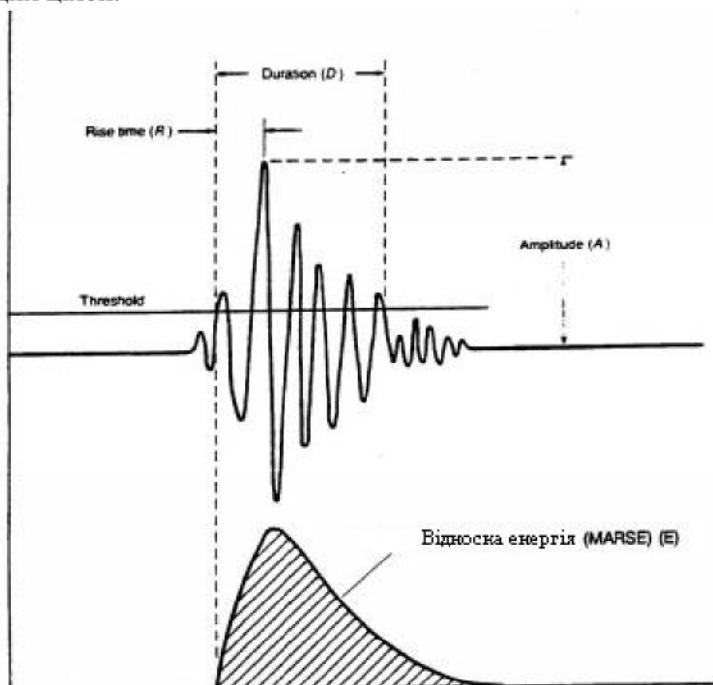


Рис. 5. Стандартний набір параметрів, що вимірюються системою

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

Тривалість (D) - це повний час, який починається від перетину сигналом порогу, закінчується віходом його під поріг. Вимірюваний в мікросекундах, цей параметр залежить від магнітуди джерела, а також акустичних і резонансних властивостей середовища і датчика (як і число осциляцій). Параметр використовується при ідентифікації процесів, що мають характерні велики тривалості сигналів. Крім того, даний параметр є корисним при відфільтрування різних шумів (по тривалості) або інших типів джерел.

Час наростання сигналу (R) - це час від першого перетину сигналом порогу до досягнення максимальної амплітуди сигналом. Даний параметр в сильному ступені залежить від функції поширення і передавальних властивостей датчика. Він може використовуватися для визначення типу деяких джерел сигналів і при відфільтрування шумів.

AE система інформаційно-діагностичного супроводу технологічного процесу, яка базується на використанні розвиненого програмного забезпечення, дозволяє одержувати велику кількість типів графіків. Оператор не обмежений у виборі способів графічного відображення даних під час збору, оскільки після проведення післятестової обробки результати експресному обробки можуть бути переглянуті, відфільтровані і відображені в іншому вигляді.

Існують наступні способи відображення:

- "Історичний" графік, що відображає весь процес випробувань від початку до кінця в залежності від часу.
- Функції розподілу, призначені для демонстрації статистичних властивостей сигналів емісії.
- Графіки по окремих каналах, що показують розподіл сигналів по каналах.
- Графіки локації для відображення розташування джерел сигналів.
- Точкові графіки кореляції між різними AE параметрами.
- Діагностичні діаграми, що демонструють ступінь небезпеки різних частин конструкції (відповідно до результатів AE аналізу).

Деякі з цих найбільш поширених типів графіків проілюстровані на рис.6.

На рис.6,а і 6,б відображені відповідно кумулятивний і диференційний історичні графіки AE - графіки залежності AE від часу. Кумулятивний графік більш зручний для оцінки загальної емісії (в кількісному вигляді), в той час як диференційний графік підкреслює ті зміни в активності, які відбувалися протягом тесту.

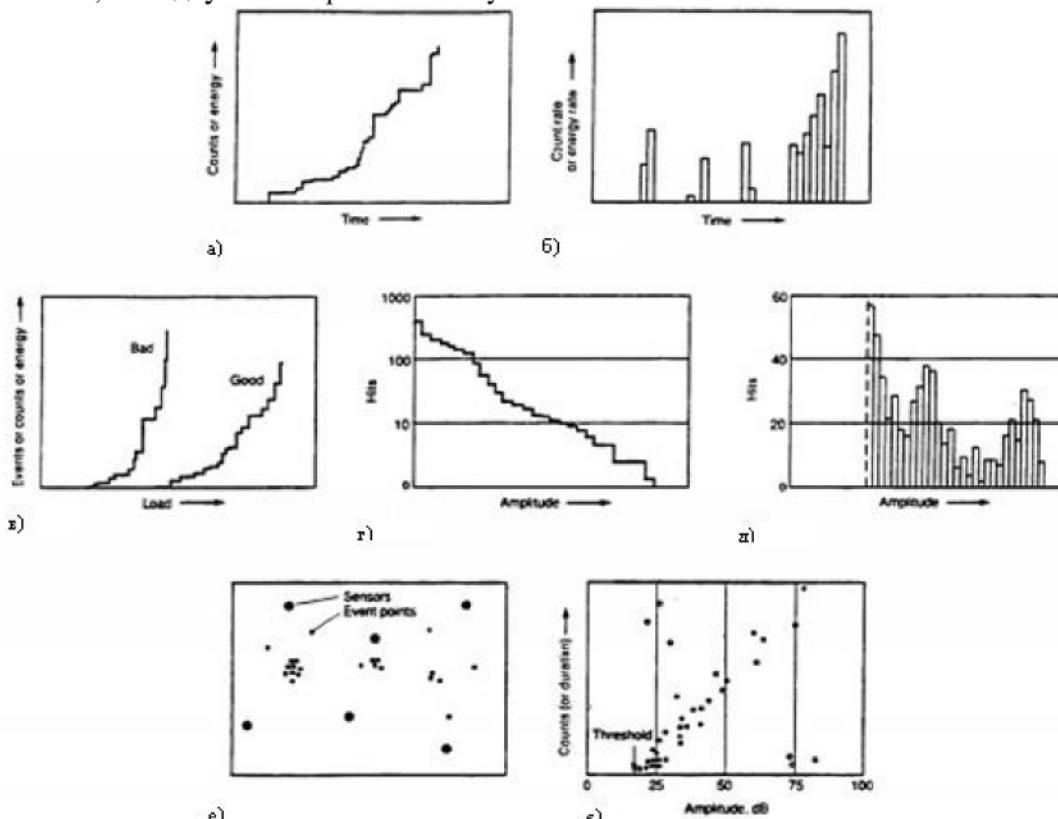


Рис. 6. Типове представлення даних AE: а – історичний графік кумулятивного рахунку або енергії, б – історичний графік швидкості рахунку (енергії), в – історичний графік даних AE (від навантаження), г – кумулятивний амплітудний розподіл, д – диференційний амплітудний розподіл (щільність розподілу), е – локалізація джерел на площині, є – точковий графік кореляції – залежність осциляцій (тривалості сигналу) від амплітуди.

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

На рис.6,в представлений історичний графік АЕ даних від навантаження. Цей графік вважається найбільш фундаментальним, тому що він безпосередньо пов'язує причину із слідством при випромінюванні емісії під час навантаження. Даний тип графіків є особливо корисним при відділенні "хорошої" частини графіка від "поганої". Зазвичай "погана" частина характеризується початком генерації АЕ сигналів вже на малих рівнях навантаження і наявністю великої кількості емісії, пов'язаного, як правило, з перешкодами від навантажувального пристрою.

На рис.6,е представлений точковий графік числа осциляцій (або тривалості) від амплітуди. Кожен хіт на цьому графіку представлений у вигляді окремої точки, положення якої несе інформацію про розмір і форму сигналу. Цей тип графіків використовується для якісної оцінки джерела, в тому числі для ідентифікації деяких найбільш часто зустрічаються типів небажаних шумів [4, 5]. Зазвичай сигнали емісії від "корисних" джерел формують на даному графіку кластери, який витягнутий в діагональному напрямку. Сигнали завад (наприклад, від електромагнітних наведень) розташовуються нижче цього кластера (на рис.6,е вони представлені у вигляді круглої ділянки в нижній правій частині графіка), оскільки вони мають малу тривалість, що не збільшується за рахунок відображення. Шумові сигнали від таких джерел розташовуються вище діагонального кластера (на рис.6,е вони представлені у вигляді круглої ділянки у верхній лівій частині графіка), оскільки вони мають малі амплітуди і великі тривалості. Це лише один з багатьох графіків, який демонструє широкі можливості АЕ методу діагностики.

В результаті проведеного аналізу встановлено, що використання сигналу акустичної емісії для інформаційно-діагностичного супроводу технологічного процесу. Зокрема, акустична емісія може ефективно застосовуватися для контролю операцій токарного, шліфувального оброблення, для діагностування стану ріжучого інструменту, для підвищення ефективності правки шліфувальних кругів. Але під час використання акустичної емісії необхідно фільтрувати шумові сигнали, які виникають під час роботи виробничого обладнання.

Інформаційні джерела

1. Барзов А.А. Эмиссионная технологическая диагностика. Библиотека технолога. М.: Машиностроение, 2005. 384 с.
2. Грешников В.А. Акустическая эмиссия / В.Грешников, Ю.Дробот -М.: Изд-во стандартов, 1976.-276.
3. Неразрушающий контроль: Справочник: в 7 т. Под общ. ред. Клюева В.В. Т.7: в 2 кн. Кн.1: Иванов В.И., Власов И.Э. Метод акустической эмиссии. – М.: Машиностроение, 2005. - 829 с.
4. Acoustic emission/ microseismic activity. Volume 1. Principles, Techniques, and Geotechnical Applications H. Reginald Hardy, Jr. The Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania, USA
5. Kek T., Grum J. Assessment of laser cutting quality using acoustic emission signals // Application of Contemporary Non-Destructive Testing in 121 Engineering: The 10th International Conference of the Slovenian Society for Non-Destructive Testing. Ljubljana. Slovenia. 2009. P. 325-332.
6. Sotirios J. Vahaviolos (1999). Acoustic Emission: Standards and Technology Update. STP-1353. Philadelphia, PA: ASTM International (publishing).

Мороз С.А., к.т.н. Петрук О.В., Петрук И.В.

Луцкий національний технічний університет

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-ДИАГНОСТИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.

В статье проведен анализ метода акустической эмиссии, на основании исследования образования, распространения и составляющих самого информационного сигнала. Рассмотрено формирование простейшего типа волны от акустически-эмиссионного источника, и изменение ее формы при распространении в среде материала и при преобразовании датчиком. Приведены основные причины от которых зависит форма зарегистрированного сигнала. Установлено элементы информационно-диагностической системы, которые создают акустические шумы. Рассмотрены составляющие параметры информационного сигнала акустической эмиссии и дано характеристика их для конкретных целей измерения. Приведены основные способы отображения информационных параметров акустической эмиссии и приведены их примеры. Сформированы рекомендации и выводы по

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

применению сигналов акустической эмиссии для информационно-диагностического сопровождения технологических процессов.

Ключевые слова: информационный сигнал, акустическая эмиссия, параметры сигнала.

S. Moroz, O. Petruk, I. Petruk

Lutsk national technical University

FEATURES OF APPLICATION OF ACOUSTIC EMISSION SIGNALS FOR INFORMATION AND DIAGNOSTIC SUPPORT OF TECHNOLOGICAL PROCESS.

The article analyzes the method acoustic emission, based on the study of the formation, distribution and components of the information signal itself. The formation of the simplest type of wave from an acoustic-emission source is considered, and its shape is changed when propagating in a material medium and under transformation by a sensor. The main reasons on which the form of the detected signal depends are given. The elements of the information-diagnostic system that create acoustic noises are established. The constituent parameters of the information signal of acoustic emission are considered and their characteristics are given for specific measurement purposes. The main methods for displaying information parameters of acoustic emission are given and their examples are given. The recommendations and conclusions on the application of acoustic emission signals for information and diagnostic support of technological processes are formed.

Key words: information signal, acoustic emission, signal parameters.