

УДК 667.64:678.02

А.О. ШАРКО

Херсонський національний технічний університет

### ОСОБЛИВОСТІ АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АКУСТИКО-ЕМІСІЙНИХ ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ

*Представлені конструкції акустичних датчиків інформаційно-вимірювальних пристроїв в системах технічної діагностики металопродукції методом акустичної емісії (АЕ). Встановлено причини, які знижують якість АЕ контролю та запропоновано конструктивні рішення по боротьбі з власними шумами АЕ апаратури і локалізацією місць введення і прийому коливань. Дається фізичне обґрунтування процесу вибору критичних кутів в конструкціях похилих перетворювачів.*

*Ключові слова: акустична емісія, датчик, конструкції, якість контролю.*

А.А. ШАРКО

Херсонский национальный технический университет

### ОСОБЕННОСТИ АППАРАТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

*Представлены конструкции акустических датчиков информационно измерительных устройств в системах технической диагностики металлопродукции методом акустической эмиссии (АЭ). Установлены причины, снижающие качество акустической эмиссии контроля и предложены конструкторские решения по борьбе с собственными шумами АЭ аппаратуры и локализацией мест ввода и приема колебаний. Дается физическое обоснование процесса выбора критических углов в конструкциях наклонных преобразователей.*

*Ключевые слова: акустическая эмиссия, датчик, конструкции, качество контроля.*

A. SHARKO

Kherson National Technical University

### FEATURES HARDWARE ACOUSTIC EMISSION DIAGNOSTICS TOOLS

*The presented design of the acoustic sensor information measuring device in systems of technical diagnostics of steel by acoustic emission method (AE). The causes reduces the quality of AE monitoring and proposed design solutions for the suppression of the intrinsic noise of the AE equipment and the location of the inlet and receiving vibrations. Given the physical basis of the process of critical angles in the structures of the angle beam transducers.*

*Keywords: acoustic emission, sensor, design, quality control.*

#### Постановка проблеми

Акустична емісія – процес виникнення пружних хвиль в результаті викиду енергії з локальних джерел в структурі матеріалів. Основним джерелом емісії в металах є рух дислокацій, супроводжуваних пластичну деформацію, а також виникнення і зростання тріщин в структурі під напругою. Іншим джерелом АЕ є плавлення, кристалізація, теплова напруга, охолодження, зростання напруги і інші чинники, що викликають рух дислокацій.

Функціональне призначення методів АЕ систем несе в собі ряд відмінностей, що характеризуються розширенням не тільки для цілей пошуку дефектів, але і для діагностики і безперервного спостереження за розвитком дефектів.

АЕ є випадковим нестационарним процесом, статистичні характеристики якого змінюються з часом. При кожній новій реалізації вона змінюється відповідно до змінних параметрів структури матеріалу, тому дослідження особливостей апаратного забезпечення акустико-емісійних засобів діагностування є актуальним.

#### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Ефект АЕ широко використовується в інформаційно-вимірювальній техніці для раннього розпізнавання тріщин, при випробуваннях матеріалу на повзучість, для виявлення прихованих дефектів на стадії їх зародження, для дослідження корозій металів під напругою, для визначення дефектів в металевих і композиційних матеріалах, для локалізації дефектів і вивчення кінетики розвитку тріщин. По параметрах емісії судять про процеси в кристалічних тілах при їх нагріванні і охолодженні, наприклад, реєструють в металах фазові перетворення мартенситного типу. Є данні про використання ефекту АЕ

при виборі режимів різання металів. У виробничих умовах методи АЕ застосовуються для локалізації і визначення параметрів дефектів і спостереження за їх розвитком при випробуваннях судин високого тиску.

До труднощів впровадження методу акустичної емісії слід віднести значні спотворення, які зазнає акустичний сигнал при своєму розповсюдженні від місць генерації до точки прийому. Вони залежать від конструкції акустичних датчиків, місця розташування перетворювачів, від конфігурації поверхні і матеріалу виробу.

На амплітудно-частотну характеристику чутливості перетворювача акустичної емісії впливає не тільки матеріал п'єзоелемента, але і конструктивні особливості корпусу демпфера, спосіб кріплення п'єзоелемента, розташування передпідсилювача і блоків фільтрів, що визначають довжину інформаційного каналу.

Широко відома проблема низького рівня вхідного сигналу модуля акустичної емісії, обумовлена низьким рівнем вихідного сигналу пьезопреобразователя (до 1мВ). При роботі п'єзоелектричного датчика необхідно забезпечити режим роботи його виходу, близький до холостого ходу, так як навантаження на виході п'єзоперетворювача може вплинути на характеристики датчика у зв'язку з зворотнім п'єзоэффектом.

Головне завдання основного підсилювача для датчиків АЕ – це узгодження зарядового виходу датчика, що має високий опір з довгою лінією, і реєструючим пристроєм, що має значно менший опір. Це висуває високі вимоги до вхідного опору підсилювача і його вхідної ємності, а також накладає обмеження на фільтрацію корисного сигналу і на довжину інформаційних каналів від датчиків до основного підсилювача.

Для боротьби з власними шумами необхідна частотна і амплітудна селекція сигналів, а також ретельне екранування від електромагнітних наведень, викликаних великою довжиною кабелю від місця розташування датчика АЕ до блоків реєструючої апаратури. Схема існуючих датчиків АЕ, що серійно випускаються, представлена на рис. 1.

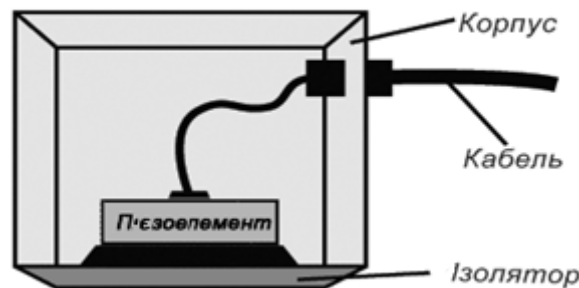


Рис. 1. Серійний датчик акустичної емісії

#### Мета дослідження

Задачею контролю є створення такого датчика акустичної емісії, в якому за рахунок конструктивних особливостей можливо було б виключити перешкоди, які знижують якість акустичної емісії.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

Поставлена задача вирішується таким чином в датчику акустичної емісії, що складається з металевого корпусу 1, в якому розташовані п'єзоелектричний активний елемент 2 і контактний пристрій, в конструкції датчика додатково розміщено передпідсилювач 3 і блок фільтрів 4, які виконані в одному корпусі з п'єзоелектричним активним елементом та контактним пристроєм (рис. 2).

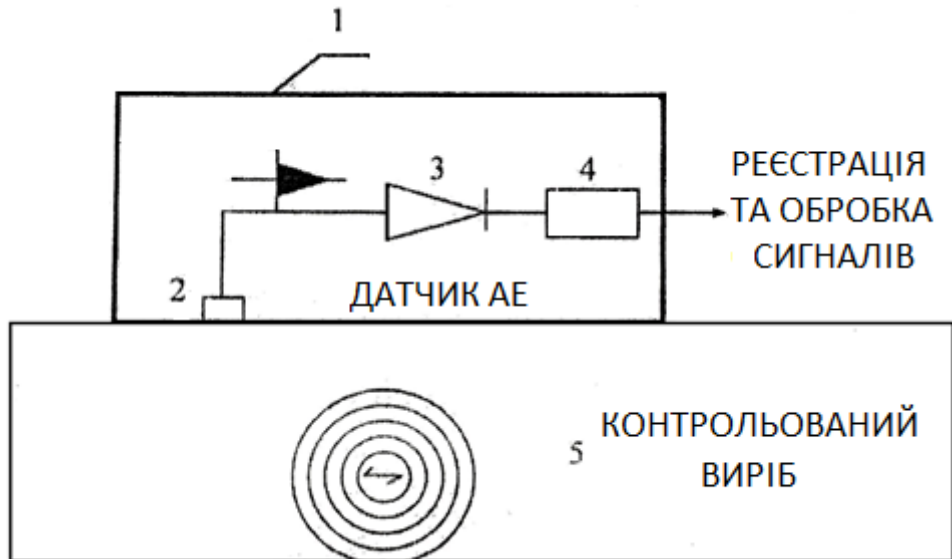


Рис. 2. Модернізований датчик акустичної емісії

На рис. 2 показано датчик акустичної емісії, який містить корпус 1, в якому розміщені п'єзоелектричний активний елемент 2, який з'єднаний з перед підсилювачем 3 і блоком фільтрів 4. Датчик розміщений на контрольованому виробі 5.

Додаткове розміщення передпідсилювача і блока фільтрів, які виконані в одному корпусі з п'єзоелектричним активним елементом і контактним пристроєм, дозволяє виключити перешкоди, які знижують якість акустичної емісії.

Датчик акустичної емісії працює наступним чином. П'єзоелектричний активний елемент 2 перетворює сигнал напружено-деформованого стану контрольованого об'єкта 5 в електричні імпульси, які подаються на вхід передпідсилювача 3 і далі на блок фільтрів 4, який здійснює перетворення отриманої інформації в аналізований сигнал акустичної емісії.

Використання датчика акустичної емісії знижує рівень шумів і підвищує якість контролю при оцінці дефектів в конструкціях, експлуатованих в умовах навантажень, агресивних середовищ тощо.

На точність акустичних вимірювань впливає не тільки величина ефекту зміни механічних властивостей, викликаной процесами впливу на матеріал, але і площа акустичного контакту. Головний недолік використання датчиків з великою площею акустичного контакту полягає в наступному. Розміри виробів можуть коливатися в межах допусків і тому для різних виробів, особливо криволінійних поверхонь, ділянка зони контакту, в якій найефективніше утворюється поверхнева хвиля, може знаходитися в різних точках виробів. Внаслідок цього шлях, що проходить акустичний імпульс по поверхні виробу, також може змінюватися в межах розміру зони контакту, тобто в межах близько 10 мм. Пов'язаний з цим відносний розкид часу проходження імпульсу складає близько 4%.

Призматичні датчики до ультразвукових дефектоскопів, що серійно випускаються, мають велику площу акустичного контакту (рис. 3).

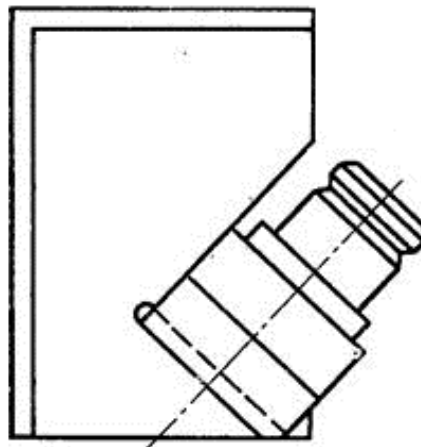


Рис. 3. Конструкція похилих серійних призматичних датчиків

Це не дозволяє використовувати їх для контролю криволінійних поверхонь труб, тому що при цьому виникає нестабільність акустичного контакту, викликана коливаннями датчика на поверхні. Відбувається велике розсіювання коливань і різко знижується потужність акустичних імпульсів, що вводяться в контрольований виріб. Для цього необхідна розробка датчиків з концентраторами енергії в зоні контакту.

Для усунення нестабільності контактної шару між п'єзоперетворювачем і контрольованою поверхнею сконструйован датчик із зменшеною зоною акустичного контакту. Перетворювач має хвилевід у вигляді рівнобедреної піраміди, кут при вершині якої задовольняє умові  $\alpha < \pi - 2\beta_{кр2}$  ( $2\beta_{кр2}$  – другий критичний кут для матеріалу хвилеводу і виробу).

У твердому тілі присутні одночасно подовжні і поперечні хвилі. У міру збільшення кута падіння ультразвуковий промінь розділяється на два: відбитий і заломлений. Якщо подовжня хвиля падає під кутом відмінним від прямого, то відбиті хвилі, що пройшли, заломлюються і трансформуються в хвилю іншого типу.

У зв'язку з різницею швидкостей поширення ультразвукових коливань у різних середовищах при переході з одного середовища в інше ультразвукові хвилі зазнають трансформації, що виявляється в зміні кута поширення хвиль.

Першим критичним кутом  $\beta_{кр1}$  називається найменший кут падіння подовжньої хвилі  $C_{l1}$ , при якому заломлена подовжня хвиля  $C_{l2}$  не проникатиме в друге середовище і в середовищі розповсюджуватиметься тільки поперечна хвиля  $C_{t2}$ .

Кут падіння  $\beta_{кр1}$ , при якому в досліджуваному матеріалі поширюється тільки поперечна хвиля, а подовжня зникає, називається першим критичним кутом:

$$\sin \beta_{кр1} = \frac{C_{l1}}{C_{l2}}, \quad \beta_{кр1} = \arcsin \frac{C_{l1}}{C_{l2}},$$

де  $C_{l1}$  – швидкість поширення подовжніх хвиль у I середовищі;

$C_{l2}$  – швидкість поширення подовжніх хвиль у II середовищі.

Другим критичним  $\beta_{кр2}$  називається найменший кут падіння подовжньої хвилі  $C_{l1}$ , при якому заломлена поперечна хвиля  $C_{t2}$  не проникатиме в друге середовище і при цьому з'являється поверхнева хвиля Релея. Кути відліковуються від нормалі, яка є перпендикуляром до поверхні розділу середовищ. Найбільшому куту заломлення подовжньої хвилі, рівному  $90^\circ$ , відповідає перший критичний кут  $\beta_{кр1}$  (рис. 4(а)). При збільшенні кута падіння більше критичного кута, ультразвуковий промінь частково відбивається і частково заломлюється і, досягши другого критичного кута  $\beta_{кр2}$ , поперечна хвиля в другому середовищі починає ковзати уздовж межі розділу двох середовищ (рис. 4(б)).

$$\sin \beta_{кр2} = \frac{C_{l1}}{C_{t2}}; \quad \beta_{кр2} = \arcsin \frac{C_{l1}}{C_{t2}}.$$

де  $C_{t1}$  – швидкість поширення поперечних хвиль у I середовищі,

$C_{t2}$  – швидкість поширення поперечних хвиль у II середовищі.

Якщо падаюча хвиля поперечна, то в міру збільшення кута падіння, починаючи з деякого значення  $\beta$ , подовжня відбита хвиля відсутня в першому середовищі (рис. 4).

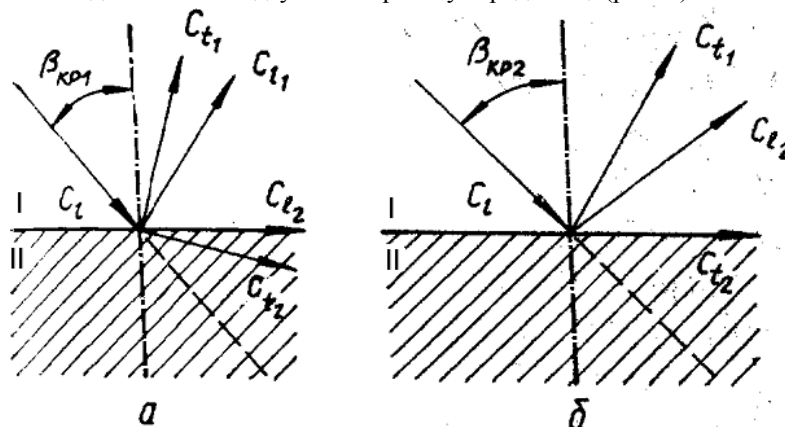
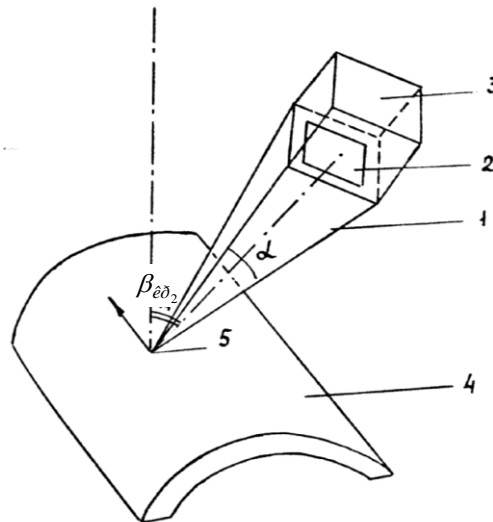


Рис. 4. Схема розповсюдження подовжніх  $C_l$  і поперечних  $C_t$  хвиль при критичних кутах падіння: а)  $\beta_{кр1}$ , б)  $\beta_{кр2}$

Властивість пружних хвиль використовується при конструюванні похилих п'єзоелектричних перетворювачів для контролю подовжніми і поверхневими хвилями.

У пропонованій конструкції акустичного датчика для збудження в контрольованому виробі поверхневих хвиль п'єзоелемент 2 встановлений перпендикулярно висоті хвилеводу 1, під кутом рівним другому критичному куту (рис. 5.).



**Рис. 5. Конструкція п'єзоперетворювача з малою зоною контактної поверхні**  
1 – призма хвилеводу, 2 – п'єзоелемент, 3 – демпфер, 4 – контрольоване виріб, 5 – зона концентрації ультразвукового пучка

Акустичний датчик складається з хвилеводу 1, виконаного у вигляді рівнобедреної піраміди, п'єзоелемента 2, демпфера 3. Вершина кута хвилеводу 1 притиснута до поверхні виробу 4. На вершину хвилеводу наноситься контактна рідина, що створює прошарок 5. Кут між висотою хвилеводу 2, співпадаючою з віссю ультразвукового пучка, і нормаллю до поверхні виробу рівний другому критичному куту  $\beta_{кр2}$  для межі розділу матеріалу хвилеводу 1 і виробу 4.

При дотриманні умови  $\alpha < \pi - 2\beta_{кр2}$  хвилевід 1 притискається до поверхні виробу 4 практично в точці. При цьому протяжність прошарку контактної рідини 5 уздовж напрямку поширення ультразвуку мінімальна, що істотно покращує локалізацію введення ультразвуку і, отже, підвищує достовірність визначення часу проходження ультразвуку по поверхні виробу.

Виконання хвилеводу у вигляді піраміди дозволяє набути нових технічних властивостей, що полягає в локалізації введення ультразвуку і приводить до підвищення достовірності контролю.

Проте практичне застосування датчиків такого типу для контролю труб поверхонь нагріву котлів СЕУ досить ускладнено, а часом не можливо взагалі, тому що при контролі кут нахилу п'єзоперетворювача до поверхонь виробу повинен залишатися незмінним. У описаній конструкції акустичного датчика така властивість не забезпечується.

Завданням наступного винаходу є створення такого акустичного датчика, в якому можливо було б підвищити точність вимірювань механічних властивостей випробовуваних виробів шляхом дотримання постійності кута введення коливань.

Це досягається тим, що в акустичному датчику контролю фізико-механічних властивостей матеріалів, що містить п'єзоелемент, демпфер, призму хвилеводу, контактний пристрій, корпус випромінювача, хвилевод, виконаний у вигляді рівнобедреної піраміди і розташований по відношенню до контрольованого матеріалу так, щоб і кут між висотою хвилеводу, співпадаючою з віссю ультразвукового променя і нормаллю до поверхні виробу дорівнював першому критичному куту для межі розділу матеріалу хвилеводу і виробу, а датчик додатково забезпечений противагою, центр тяжіння якої розташований зовні піраміди хвилеводу для дотримання постійності кута введення ультразвукових коливань при контролі.

Для виключення можливості проникнення акустичних коливань в зону контакту противаги в датчику передбачена ступінчаста виїмка, що обмежує розсіювання ультразвукових коливань п'єзоелементом акустичного датчика.

Такий універсальний акустичний датчик (рис. 6) складається з корпусу 1, в якому розміщений хвилевод 2, виконаний у вигляді рівнобедреної піраміди, п'єзоелемент 3, сполучений з хвилеводом 2 через ізоляційне кільце 4. Інша сторона п'єзоелемента 3 сполучена з демпфером 5 через ізоляційну втулку 6 і контактний штир 7, що фіксується затискною гайкою 8, а датчик додатково забезпечений противагою 9, з'єднаною з хвилеводом 2.

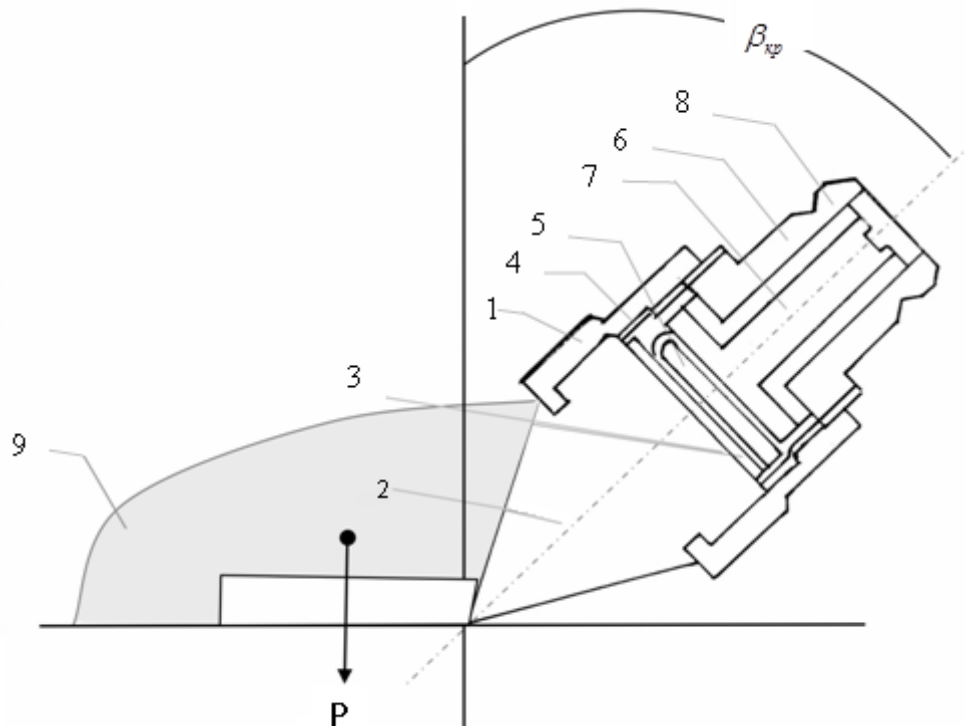


Рис. 6. Універсальний акустичний датчик контролю властивостей матеріалів

Акустичний датчик працює таким чином. При поданні електричного імпульсу на п'єзоелемент 3 відбувається деформація його поверхонь з частотою сигналу, що подається. За рахунок цього випромінюються ультразвукові коливання, які через піраміду хвилеводу 2 поступають до контрольованого виробу. При контролі вершина кута хвилеводу 2 притиснута до поверхні виробу. На вершину хвилеводу 2 наноситься контактна рідина, що утворює прошарок.

Пропонований акустичний датчик контролю властивостей матеріалів дозволяє підвищити точність вимірювань за рахунок локалізації зони введення ультразвукових коливань в контрольованому виробі.

#### Висновки

1. Представлені конструкції датчиків АЕ, які є первинною ланкою апаратного забезпечення акустико-емісійних способів діагностування, дозволяють покращити якість неруйнівного контролю металопродукції.
2. Використання інструментарію акустичної емісії дозволяє знайти невідомі раніше характеристики структури матеріалів, простежити динаміку їх розвитку і забезпечити прогнозування.
3. Можливість спостереження за характером дефектів визначає перспективність використання запропонованих конструкцій датчиків в системах оцінки технічного стану об'єктів і попередження руйнувань.

#### Список використаної літератури

1. Марасанов В.В., Шарко А.О. Датчик акустической эмиссии – патент на полезную модель №116757 от 12.06.2016 Бюл. №11.
2. Марасанов В.В., Шарко А.О. Статистична обробка сигналів акустичної емісії / В.В. Марасанов, О.В. Шарко, А.О. Шарко // Вісник національного університету «Львівська політехніка» серія Інформаційні системи та мережі 2016 – №854 – С.98-107
3. Pollok A. Acoustic Emission Inspection / Metals Handbook. Ninth Edition ASM International – 1989 – Vol.17 – p.278-294.
4. Marasanov V., Sharko A. Mathematical Models of Interrelation of Characteristics of the Developing Defects with Parameters of Acoustic Emission Signals // International Frontier Science Letters. Switzerland – 2016 – V.10 – P.37-44.