

5. Кравченко А.А. О формировании предельно гладких поверхностей стекол / А.А. Кравченко, Ю.Н. Лохов, Д.И. Чередниченко // Физика и химия стекла. – 1990. – Т.16. – № 6. – С. 923 – 927.
6. Ващенко В.А. Научные основы управления качеством электронно-лучевой обработки изделий из специальных оптических материалов: автореферат дис. докт. техн. наук: 05.03.07 / Ващенко В.А. – Киев, 1996. – 32 с.
7. Ващенко В.А. Высокотемпературные технологические процессы взаимодействия концентрированных источников энергии с материалами: монография / Ващенко В.А.; Черкассы: ВИНТИ, 1994, №35-Х94. – 493 с.
8. Котельников Д.И. Изменение свойств оптического стекла после электронно-лучевой обработки / Д.И. Котельников, Г.В. Канашевич, Г.Н. Дубровская // Тез. докл. II Всесоюзной конференции "Модификация свойств конструкционных материалов пучками заряженных частиц". Уральское отделение академии наук СССР, Институт электрофизики, г. Свердловск, 1991, С. 86 – 88.
9. Борисов Н.А. Полировка кремниевых пластин электронным лучом / Н.А. Борисов, Г.В. Дудко // Электронная обработка материалов, №5(29), 1969. – С. 18 – 21.
10. Электронно-лучевая обработка фотокатодных стекол / Г.В. Дудко, А.А. Кравченко, Д.И. Чередниченко [и др.] // Электронная техника. – Сер. 4. «Электроракумные и газоразрядные приборы». – Вып.1. – С. 294. – М.: Электроника. – 1989. – С. 60 – 63.
11. Kanashevich G.V. Cooling of plates from optical glass after electronic micro-treatment / Kanashevich G.V. // Электронная обработка материалов (Кишинев). – 2005. – №4 (234). – С. 79 – 83.
12. Kanashevich G.V. Micro-treatment of surfaces of plates made of optical glass with a low-power electronic stream of a band form / Kanashevich G.V. // The 7th World Congress on Recovery, Recycling and Reintegration & China International 3R Exhibition, Beijing, China, 25-29 Sept. 2005. – P. 7.
13. Канашевич Г.В. Превращения в поверхностном слое оптического стекла и фотопластин из силикатного стекла от действия низкоэнергетического электронного потока / Канашевич Г.В. // Ежемесячный междисциплинарный теоретический и прикладной научно-технический журнал «Нано- и микросистемная техника» (Россия). Рубрика: Материаловедческие и технологические основы МНСТ., 2008. – № 10. – С. 28 – 30.

*Надійшла до редакції  
26 квітня 2013 року*

© Канашевич Г. В., 2013

УДК 620.192.63

## АКУСТИЧНО-МЕХАНІЧНИЙ МЕТОД КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВИРОБІВ ПОРОШКОВОЇ МЕТАЛУРГІЇ ТА ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

*Бабченко О.В., Румбешта В.О., Мишук Н.М.*

*Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут",  
м. Київ, Україна*

*Запропоновано ефективний акустично-механічний метод контролю виробів із композитних матеріалів, кераміки, пружних елементів.*

*Оцінка використання даного методу передбачає необхідність виконання наступних етапів досліджень: аналізу особливостей досліджуваного об'єкта, опису закономірностей формування акустичного поля за допомогою фізичного навантаження на об'єкт контролю,*

*вибору ефективних засобів вимірювань - акустичних методів досліджень і реєстрація необхідних параметрів, встановлення взаємозв'язку між отриманими параметрами та контрольованими характеристиками у вигляді певних графіків акустично-емісійного сигналу, створення за отриманими даними структурної моделі матеріалу, апаратурно-методичну розробку, створення, реалізацію цього методу.*

*У подальших дослідженнях буде створена база даних із класифікацією за матеріалами та за їх якісними характеристиками.*

*Ключові слова: акустично-механічний метод, контроль, пружні елементи, порошкова металургія.*

### **Вступ. Постановка проблеми**

Наразі за умови стрімкого розвитку виробництва за технологією порошкової металургії, створення нових композиційних матеріалів, гостро постає питання щодо контролю якості виготовлених деталей. Серед великої кількості методів неруйнівного контролю, до яких можна віднести акустичний [1], ультразвуковий [1], магнітний [2], рентгенівський, вібраційний, вихро-струмовий [2], тепловий та ін., автоматизації піддається тільки незначна їх частина.

Тому вкрай необхідним є створення нового ефективного методу контролю параметрів внутрішньої структури матеріалу, наявності дефектів, які негативно впливають на якісні показники виробу, а також методу контролю, який завдяки нескладному алгоритму контролю та великій швидкості процедури його проведення, легко піддавався би автоматизації.

### **Об'єкти та методи досліджень**

Оскільки реальні порошкові, композиційні та пружні матеріали в своїй більшості є неоднорідними, анізотропними, мають, окрім пружності й інші властивості, наприклад залишкові напруження, дефекти та інше, то діагностика таких матеріалів потребує знаходження найбільш простих методів контролю [3], що враховують особливості матеріалу настільки, щоб задовольнити умови відображення шуканих властивостей із необхідною для його діагностики точністю.

Для вирішення поставленої задачі було запропоновано дослідження акустичних методів, оскільки вони виявляють функціональний зв'язок акустичної характеристики матеріалу із властивостями його внутрішньої структури.

Контроль пружних елементів, а саме пружин спеціального призначення, що широко використовуються в приладобудуванні, проводиться вибірково. При цьому контролюються механічні параметри пружин: пружність, геометричні параметри, число витків. Якість самого виробу контролюють візуально на наявність тріщин, рисок, що можуть утворюватися в процесі виготовлення. Подібний метод контролю не може забезпечити необхідної якості всієї партії пружин.

У порівнянні з іншими методами неруйнівного контролю акустична дефектоскопія має важливі переваги: високу чутливість до найбільш небезпечних дефектів типу тріщин і пор, велику продуктивність, можливість вести кон-

троль безпосередньо на робочих місцях без порушення технологічного процесу, низьку вартість контролю.

### **Акустично-механічний метод контролю**

Запропонований нами метод можна одночасно віднести до цих двох груп, оскільки він заснований на прийомі акустично-емісійних хвиль, але вони збуджені не завдяки ультразвуковому випромінювачу, а за допомогою механічного імпульсного впливу на деталь. Це здійснено внаслідок механічного навантаження та пружної деформації елементів із подальшим розвантаженням і виміром акустичного емісійного сигналу тертя кристалів, що відбуваються за умови таких деформацій.

Відповідно до запропонованого методу, процес моделювання припускає побудову системи моделей матеріалів: структурних, акустичних, фізичних і математичних.

Оцінка ефективності практичного використання цього акустичного методу за умови вирішення конкретних дослідницьких завдань порошкової металургії та пружних елементів може [4] бути проведена різними шляхами. Ми зупинилися на акустичному моделюванні матеріалів, виготовлених методами порошкової металургії, із подальшою експериментальною кількісною перевіркою його результатів. Такий підхід передбачає необхідність виконання наступних етапів досліджень:

- ✓ аналізу особливостей досліджуваного об'єкта;
- ✓ опису закономірностей формування акустичного поля за допомогою фізичного впливу безпосередньо імпульсним ударом по деталях, виготовлених методами порошкової металургії, та встановлення зв'язку його параметрів із характеристиками матеріалу згідно певним теоретичним моделям;
- ✓ вибору ефективних засобів вимірювань - акустичних методів досліджень і реєстрованих за допомогою цих методів параметрів, встановлення взаємозв'язку між отриманими параметрами та контрольованими характеристиками у вигляді певних графіків акустично-емісійного сигналу. Створення за цими даними структурної моделі матеріалу;
- ✓ розробку та створення вимірювального інструмента, апаратурно-методичну реалізацію цього методу; коректне пояснення результатів.

### **Створення моделі контролю акустично-механічним методом**

Оскільки сумарні ефективні властивості багатокомпонентного матеріалу визначаються не тільки вихідними фізичними властивостями компонентів і щільністю кристалічної структури, але значною мірою, залежить від шляху отримання матеріалу, важливим моментом при обробці результатів є врахування особливостей елементів технології отримання матеріалу, що може істотно впливати на формування цієї властивості та відповідного стану матеріалу.

Структурна модель має увібрати в себе всі характеристики матеріалу, що визначають властивості якості матеріалу. Тому вони можуть відрізнятися для

різних матеріалів залежно від стадії технологічного процесу. Побудову подібної моделі пов'язано з її оптимізацією за чинниками мінімальної деталізації за умови збереження всіх елементів, що істотно впливають на досліджувані властивості матеріалу. Так, чим повніше ми хочемо описати властивості матеріалу, тим більш точну структурну модель необхідно розробити, і більше характеристик стану внутрішньої структури матеріалу необхідно використовувати.

Однак, при вирішенні окремих завдань із дослідження певних властивостей матеріалу можливі суттєві спрощення. У цих випадках структурну модель доцільно представляти із позиції ієрархічного рівня, відповідального за формування досліджуваних властивостей і опрацьовувати до деталей і ступеня відповідності з реальною структурою матеріалу, що дозволяють розкрити ці властивості.

Акустична модель дозволяє відобразити матеріал у вигляді еквівалентної акустичної схеми [5], зображеній на рис. 1, у вигляді акустичного ехо-сигналу, де кожен структурний елемент матеріалу представлено у вигляді середовища, що має певні властивості пружності, інерційних і не пружних ділянок зі своїми акусто-хвильовими перетвореннями.

Далі отриманий ехо-сигнал обробляється за середньою модуляційною (рис. 2). Після чого розглядаємо перший сплеск ехо-сигналу та аналізуємо його параметри: амплітуда, час згасання, час проходження акустичної хвилі.

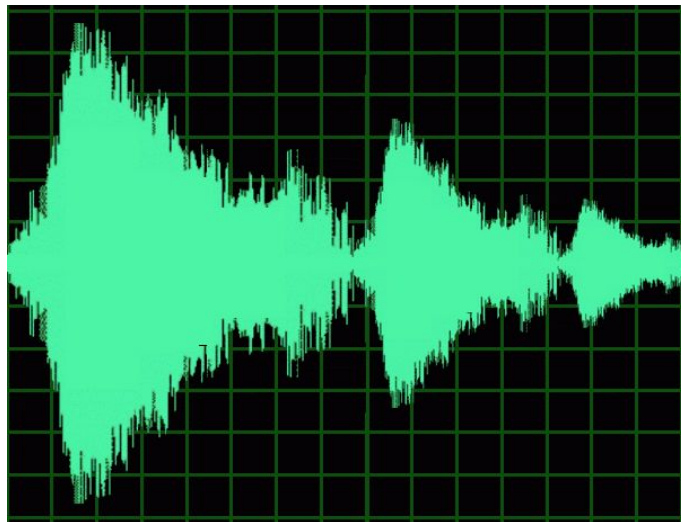


Рис. 1. Акустичний сигнал, отриманий при контролі деталі акустично-механічним методом.

Виміри проводились ультразвуковим дефектоскопом УД2-12

Приклад такої акустичної діаграми показаний на рис. 3, де:

$A_G$  - амплітуда сплеску - як потужність акустичного сигналу;

$T_{згас}$  - час згасання акустичної хвилі;

$\tau_{\Sigma}$  - загальний час проходження акустичної хвилі від поверхні до дна контрольованого об'єкту, як час проведення процедури вимірювання.

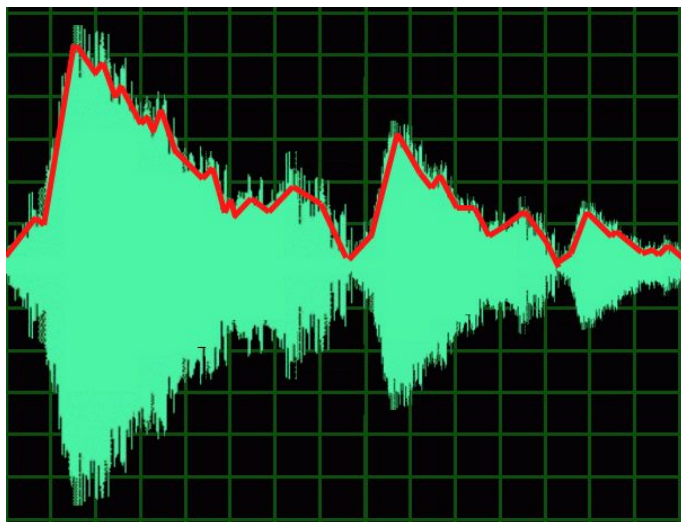


Рис. 2. Обробка сигналу за середньою модуляційною

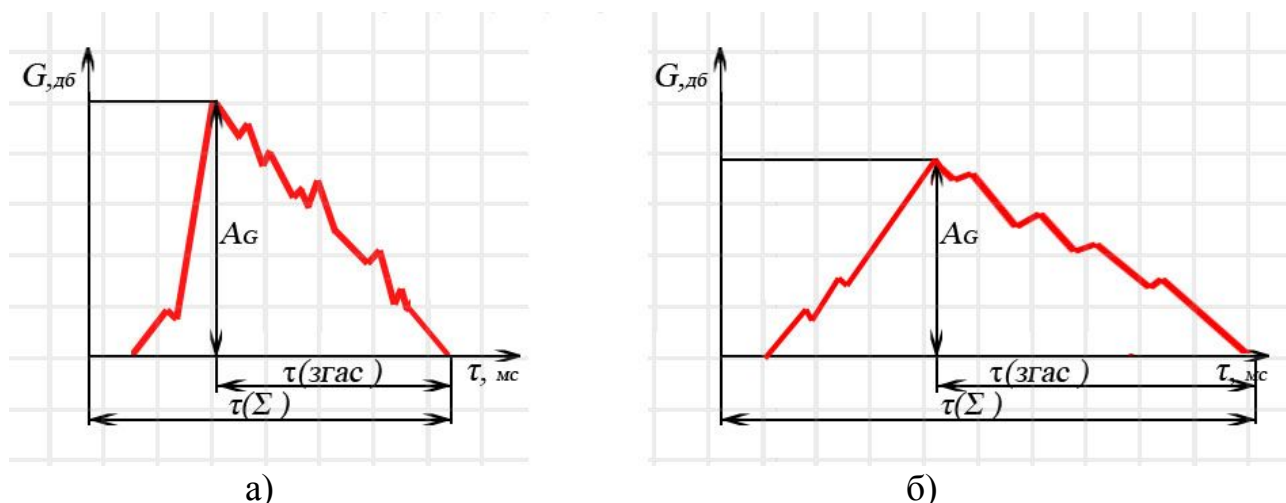


Рис. 3. Сигнал у вигляді акустичної діаграми, де а) отриманий зразок; б) дефектний зразок

При порівнянні сигналів якісного та дефектного зразків для них справедливі такі вирази:

$$A_{Ga} > A_{Gb};$$

$$\tau_{zgas\ a} < \tau_{zgas\ b};$$

$$\tau_{\Sigma a} < \tau_{\Sigma b}.$$

Фізична модель акустичного сигналу дозволяє аналізувати закономірності формування акустичного поля в матеріалі. Побудова фізичної моделі полягає у виборі вже відомого із літератури рішення задачі опису процесу поширення пружних хвиль у матеріалі згідно тієї чи іншої теорії деформації твердого тіла, або, якщо такого рішення ще не існує, знайти його.

У фізичній моделі, використовуючи методи математичного моделювання, формалізують у вигляді функціональної залежності зв'язок акустичних характеристик матеріалу з його властивостями при заданих умовах.

Результатом побудови фізичної моделі є вибір параметрів акустичних характеристик матеріалу, що необхідно дослідити в результаті експерименту, для того, щоб описати стан матеріалу або визначити його необхідні властивості за функціональною залежністю.

Для опису математичної моделі у цьому випадку доцільніше всього використовувати континуальну модель [6], в якій тверде тіло представлено як однорідне (властивості всіх  $V_p$  - однакові), ізотропне (не скалярні властивості не залежать від напрямку), ідеальне (має тільки властивості пружності), лінійно пружне (функція незалежності напруги від деформації). Його стан описується щільністю  $\rho$  та двома фазовими швидкостями розповсюдження пружних хвиль - повздовжньої  $c_l$  і поперечної  $c_t$ , функціонально пов'язаними із характеристиками пружності:

$$c_l = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-\mu)}},$$
$$c_t = \sqrt{\frac{E}{\rho(1+\mu)}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}},$$

де  $E$ ,  $G$  - лінійні модулі пружності і зсуву відповідно;

$\mu$  - коефіцієнт Пуассона.

У більш складних континуальних моделях число характеристик стану тіла збільшується.

Керування інформативністю відображення щільності внутрішньої структури матеріалів в акустичних полях засноване на адаптації умов їх формування-знімання до абсолютних значень і співвідношень хвильових розмірів елементів різних ієрархічних рівнів.

Кожен вид реального матеріалу має певні співвідношення між розмірами структурних елементів, що визначають можливості отримання інформації про параметри структури матеріалу за результатами акустичних вимірювань.

Досягнення максимальної чутливості параметра акустичного поля до шуканої властивості матеріалу здійснюється внаслідок аналізу акустично - емісійних хвиль, викликаних наслідками механічного впливу на контрольований об'єкт. Таким чином збуджуються відповідні спектри частот просторових зон озвучування, що дає вихідний акустичний сигнал.

У подальших дослідженнях планується створення бази даних для кожного виду матеріалу і розв'язання задачі контролю стосовно певного матеріалу. Також необхідно створювати спеціальні методи формування-знімання пружних коливань із мінімальною втратою чутливості сигналу.

## **Висновки**

На підставі встановлених закономірностей формування акустичних полів у матеріалах із розвиненою структурою, розроблених принципів керування їх інформативністю, а також проведених класифікацій цих матеріалів, методів їх моделювання та дослідження запропоновано механічно-акустичний метод розв'язання задач акустичного прогнозування та контролю властивостей, структури або дефектності порошкових матеріалів.

Метод контролю являє собою комплекс взаємопов'язаних заходів, в основу яких покладено залежність щільності структури матеріалу, з його акустичними властивостям, а кінцевим результатом є високоєфективний метод контролю його певних властивостей. Даний метод є повністю автоматизований і забезпечує контроль всієї партії виготовленої продукції.

## **Література**

1. Сухоруков В.В. Неразрушающий контроль Кн.2 Акустические методы контроля / В.В.Сухоруков: - М.: Высшая школа, 1991. - 287 с.
2. Сухоруков В.В. Неразрушающий контроль Кн.3 Электромагнитный контроль / В.В.Сухорукова: - М.: Высшая школа, 1992. - 310 с.
3. Бабченко О.В. Эффективный акустичний метод з композитного матеріалу, кераміки та пружних елементів / О.В. Бабченко, В.О. Румбешта, Ю.С. Зарубієва // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – 2012. – Вип. 43. – С. 106 – 112.
4. Румбешта В.О. Сучасні методи контролю порошково спікаємих виробів/ В.О. Румбешта, О.В. Бабченко, І.А. Ткаченко // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2011. – № 57. – С. 13 – 18.
5. Quality Cotrol Method For Powder Melted Tool Plates / О. Babchenko // XIII International PhD Workshop OWD 2011. Polish-Japanese Institute of Information Technology, Warsaw. – 2011. - P. 523 – 528.
6. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела / Ю.Н. Работнов. – М.: Наука, 1979. – 744 с.

*Надійшла до редакції  
24 квітня 2013 року*

© Бабченко О. В., Румбешта В. О., Мишук Н. М., 2013

УДК 620.179.14(088.8)

## **АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ УЯВНИХ ФУНКЦІЙ ДЛЯ КООРДИНАТНИХ СИСТЕМ РУХУ ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ (Частина 1)**

<sup>1)</sup>Скицюк В.І., <sup>2)</sup>Вайнтрауб М.А.

<sup>1)</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,

<sup>2)</sup>Інститут професійно-технічної освіти НАПН України, м. Київ, Україна

*У роботі розглянуто концепцію впливу аргументу на типову функціональну залежність при перенесенні її з уявної системи координат до реальної, як міри оцінки розходження між ними. На прикладі простої функції  $y = kx$  показано, яким чином відбувається вплив аргументу  $x$  на величину коефіцієнта  $k$  і, як наслідок, величину  $y$ . Окрім цього, показано на конкрет-*