

УДК 620.179.16.2

В.О. РУМБЕШТА, І.Р. ТКАЧЕНКО

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

**АКУСТИЧНИЙ ЕХО-МЕТОД ДЛЯ КОНТРОЛЮ СКЛАДНИХ ПО  
КОНСТРУКЦІЇ ДЕТАЛЕЙ**

*У статті розглянутий акустичний ехо-метод ефективний для контролю складних по конструкції деталей, який заснований на посиланні у виріб коротких імпульсів ультразвукових коливань, які відбиваються від дефекту. Наведені приклади аналізу та розрахунку сигналів, що надходять від дефектів.*

**Ключові слова:** акустичний ехо-метод, ехо-сигнал, імпульс.

В зв'язку з підвищенням вимог до якості та надійності виробів зі складною конструкцією, що випускаються все більшого значення набувають фізичні методи контролю якості металів та виробів з них, які не потребують вирізки зразків чи руйнування готових виробів.

Основні переваги таких методів контролю, зокрема акустичного ехо-методу, виявляються при використанні їх в серійному виробництві, тим більше, що на багатьох підприємствах відчувається значне відставання продуктивності праці на контрольних операціях в порівнянні з операціями виготовлення.

**Об'єкти та методи дослідження**

Об'єкт дослідження – складні по конструкції деталі.

Методи дослідження – ефективний акустичний ехо-метод, принцип дії та математичне представлення.

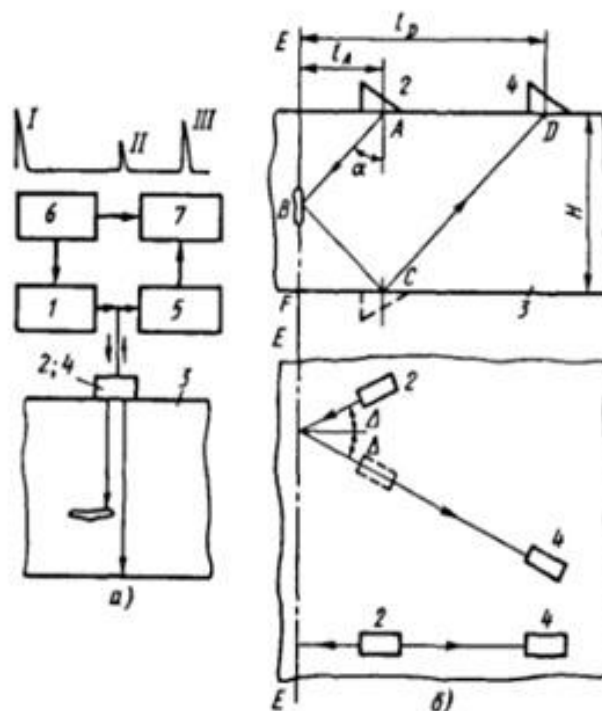
**Постановка завдання**

Розглянути та проаналізувати сутність ехо-методу для різноманітних деталей, визначити та сформулювати особливості контролю складних по конструкції деталей.

**Результати та їх обговорення**

Акустичний ехо-метод найбільш універсальний. Він заснований на посиланні у виріб коротких імпульсів ультразвукових коливань, реєстрації інтенсивності і часу приходу ехо-сигналів, відбитих від дефектів. Для контролю виробу датчик ехо-дефектів сканує його поверхню. За допомогою цього методу можна виявити поверхневі і глибинні дефекти з різною орієнтацією. Для проведення такого контролю створені різні промислові установки. Ехо-сигнали можна бачити на екрані осцилоскопа або реєструвати самозаписуючим приладом, який дозволяє підвищити надійність, об'єктивність, достовірність виявлення дефектів, а також продуктивність і відтворюваність контролю. Чутливість ехо-методом досить висока. В оптимальних умовах контролю на частоті 2–4 МГц можна виявляти дефекти, відбивна поверхня яких має площу близько 1 мм.

На екрані індикатора зазвичай спостерігають посланий (зондуючий) імпульс I, імпульс III, відбитий від протилежної - донної поверхні виробу (донний сигнал), і ехо-сигнал II від дефекту. Час приходу імпульсів II і III пропорційний глибині залягання дефекту і товщині виробу. На цьому малюнку показана поєднана схема контролю, при якій перетворювач виконує функції випромінювача і приймача. Якщо ці функції виконують різні перетворювачі, то схему називають роздільним.



*a)* – ехо-метод, *б)* – дзеркальний ехо-метод

**1** – генератор; **2** – випромінювач; **3** – об'єкт контролю; **4** – приймач; **5** – посилювач;  
**6** – синхронізатор; **7** – індикатор

Дзеркальним ехо-методом аналізують сигнали, дзеркально відбиті від донної поверхні виробу і дефекту, тобто ті, що пройшли шлях ABCD (рис. 1, б). Варіант цього методу, пов'язаний з виявленням вертикальних дефектів, що називають методом «тандем», для реалізації якого при переміщенні перетворювачів 2, 4 підтримують постійним значення:  $l_A + l_D = 2 \cdot H \cdot \operatorname{tg} \alpha$ ; для отримання дзеркального відображення від неvertикальних дефектів значення  $l_A + l_D$  варіюють. Один з варіантів дзеркального ехо-методу передбачає розташування випромінювача і приймача не в одній площині (вигляд в плані, даний на рис. 1, б внизу), а в різних площинах, але таким чином, щоб приймати дзеркальне відображення від вертикального дефекту. Цей варіант називають тандем-дует. Спосіб «дует» характеризується симетричним розташуванням випромінювача і приймача. Ще один варіант дзеркального ехо-методу передбачає розташування перетворювачів по різні сторони виробу.

Ознакою виявлення дефектів при контролі ехо-наскрізним методом є послаблення наскрізного I і другого наскрізного II (тобто двічі відбитого у виробі) сигналів, а головне – поява між ними ехо-сигналів від дефектів III і IV. Великий не прозорий дефект визиває зникнення сигналів I і II. Невеликі по розмірам чи напівпрозорі дефекти виявляють по появі ехо-наскрізних сигналів III і IV, що відповідають відображенню від цих дефектів хвиль, що йдуть від верхньої чи нижньої поверхонь виробу.

Математична залежність для відображення цього сигналу від не прозорого дефекту площею  $S_b$  в контактному варіанті має вигляд:

$$P_e = \frac{P_o S_a S_b}{\lambda^2 x_1 (x - x_1)} \left[ 1 - \frac{S_b (x - x_1)}{2 \lambda x_1 (x - x_1)} \right] \quad (1.1)$$

При контролі деталей складної конструкції з листових матеріалів часто зустрічаються протяжні дефекти, які частково пропускають, а частково відображають ультразвукові хвилі. Розглянемо ехо-наскрізний сигнал амплітудної  $P_e$  від такого дефекту, рахуючи його повністю перекриваючим ультразвуковий пучок. Позначимо  $R_N$  і  $D_N$  коефіцієнти відображення та прозорості дефекту по амплітуді, тоді:

$$P_e = P_0 R_N D_N S_a / [\lambda(x + 2x_1)] \quad (1.2)$$

Формули (1.1) та (1.2) відображають основні закономірності ехо-наскрізного методу. На практиці цей метод застосовують в імерсійному варіанті. Для нього формули отримують, вводячи уявні випромінювачі-приймачі та відображення на кордоні імерсійна рідина-виріб.

Тінеутворююча дія невеликого не прозорого дефекту невелика, тому амплітуда ехо-наскрізного сигналу  $P_e$  зростає пропорційно площі дефекту. Однак при більшій площі дефекту тінеутворююча дія починає переважати і зростання амплітуди ехо-наскрізного сигналу сповільнюється, а потім амплітуда починає зменшуватись. В результаті, деякому значенню амплітуди ехо-наскрізного сигналу  $P_e$  можуть відповідати два розміри дефекту, що заважає оцінці розмірів дефектів по амплітуді. Тінеутворююча дія дефекту послаблюється, якщо виміряти не амплітуду, а ехо-наскрізного сигналу  $P_e$ , а її відношення до амплітуди наскрізного сигналу.

Амплітуда ехо-наскрізного сигналу від протяжного напівпрозорого розшарування, по суті, визначає добуток  $R_N D_N$ . Відношення амплітуд ехо-наскрізного і наскрізного сигналів, що не залежить від прозорості дефекту, пропорційно його відбивних властивостей.

Тому доцільно, в якості інформативного параметра використовувати відношення амплітуд ехо-наскрізного і наскрізного сигналів. Це відношення практично однозначно пов'язано з відбивними властивостями як не прозорого дефекту невеликого розміру, так і протяжного напівпрозорого дефекту. Воно не залежить від коефіцієнта проходження через межу імерсійна рідина – виріб, який змінюється внаслідок нерівності поверхні листів, непаралельності їх поверхонь, зміни кута введення, пов'язаного з протяжкою листа. Це відношення не залежить від розкиду параметрів ультразвукових перетворювачів та електронної апаратури, що дуже важливо при створенні багатоканальних установок, які зазвичай приймають для контролю ехо-наскрізним методом.

Для ехо-наскрізного методу характерна перешкода у вигляді сигналу поперечної хвилі, що виникає при проходженні ультразвуку з емісійного середовища у виробі. При нормальному падінні акустичних хвиль від випромінювача на поверхню поперечна хвиля не виникає, однак на практиці акустична вісь перетворювача відхиляється від нормалі до поверхні на  $1...3^\circ$ .

Порівняємо час приходу перешкоди та сигналу III  $t_n$  і  $t_3$ , прийнявши в якості опорного часу  $t_1$  приходу наскрізного сигналу I:

$$\frac{t_n - t_1}{t_3 - t_1} = \frac{x/c_t - x/c_l}{(x + 2x_1)/c_l - x/c_l} = \frac{x}{2x_1} \left( \frac{c_l}{c_t} - 1 \right) \quad (1.3)$$

При  $c_t = 0,55c_l$  це відношення менше одиниці, якщо  $x_l > 0,5$ . Це означає, що перешкода приходить раніше ехо-наскрізного сигналу, якщо дефект розташований в нижній половині листа (ближче до приймача). В цьому випадку, від перешкоди можна «відбудуватись», застосувавши тимчасове строкування. Якщо дефект розташований у верхній половині листа, то в стробований часовий інтервал

потрапляє ехо-наскрізний сигнал IV. Таким чином, для відбудування від перешкоди, що визвана поперечною хвилею, необхідно стробювати часовий інтервал від  $t_1+0,5(t_2-t_1)$  до  $t_2$  ( $t_2$  – час приходу наскрізного сигналу II) та фіксувати ехо-наскрізні сигнали III та IV, що приходять в цьому інтервалі.

Для дефектів, що розташовані всередині третини товщини ви деталі (як це зазвичай буває на практиці), зміна амплітуди в залежності від глибини залягання дефекту не перевищує 2 дБ. Якщо модель дефекту знаходиться в центральній частині листа в зоні  $\pm \lambda$ , при експериментах спостерігають осциляцію амплітуди до 6 дБ. Це пов'язано з інтерференцією сигналів III та IV. На практиці відміченого явища зазвичай не спостерігають в залежності з нерівністю поверхні реальних розшарувань.

### **Висновки**

Даний метод є ефективним для контролю деталей зі складною конструкцією. Для контролю виробу датчик ехо-дефектів сканує його поверхню, що не призводить до руйнування деталі чи матеріалу. За допомогою цього методу можна виявити як поверхневі так і глибинні дефекти з різною орієнтацією.

### Список використаної літератури

1. Теория и практика ультразвукового контроля. – М.: Машиностроение, 1981. – 240 с.
2. Методы акустического контроля металлов / Н.П. Алешин, В.Е. Белый, А.Х. Вopilкин и др.: Под ред. Н.П. Алешина. – М.: Машиностроение, 1989. – 456 с.
3. Акустические методы контроля: Практ. пособие/И.Н. Ермолов, Н.П. Алешин, А.П. Потапов; Под ред. В.В. Сухоруков. – М.: Высш. шк., 1991. – 283 с.

Стаття надійшла до редакції / Article received: 20.05.2013

### **Акустический эхо-метод для контроля сложных по конструкции деталей**

В.А. Румбешта, И.Р. Ткаченко

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»*

В статье рассмотрен акустический эхо-метод, эффективен для контроля сложных по конструкции деталей, который основан на послании в изделие коротких импульсов ультразвуковых колебаний, которые отражаются от дефекта. Приведены примеры анализа и расчета сигналов, поступающих от дефектов.

**Ключевые слова:** акустический эхо-метод, эхо-сигнал, импульс.

### **Acoustic echo control method for the construction of complex parts**

V. Rumbeshta, I. Tkachenko

*National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»*

In paper the acoustic echo method is considered, it's effective for the control of complex parts in design, which is based on the reference product in short pulses of ultrasonic vibrations that are reflected from the defect. There are examples of analysis and calculation of signals from defects.

**Keywords:** acoustic echo-method, echo-signal, pulse.