



Metrological Provision of MULTITEST CD010 Device for Measuring the Velocity and Attenuation of Ultrasound in Materials

Vlado KAMENOV¹, Yordan MIRCHEV²

¹ Technical University – Sofia, Bulgaria

² Institute of Mechanics at the Bulgarian Academy of Sciences, email: mirchev@imbm.bas.bg

Abstract

A description of a modular unit MULTITEST CD010, which operates by the method of simultaneous measurement of two information parameters – velocity and attenuation of ultrasound, which provide information from the volumetric ultrasound waves passing through the entire section of the controllable material is presented. The appliance is part of an automated system for complex non-destructive testing – MULTITEST, designed to evaluate the structure and physico-mechanical properties of the material without the destruction. This requires precise metrological measurements with comparative and reference samples. Displayed and analyzed are comparative and reference samples to be used in conducting ultrasonic non-destructive testing. Comparative samples were used to determine velocity and ultrasonic damping in cast iron castings and steel.

Keywords: complex non-destructive testing

Метрологично осигуряване на уред MULTITEST CD010 за измерване на скорост и затихване на ултразвука в материалите

Владо КАМЕНОВ, Йордан МИРЧЕВ

1. Увод

Съществува метод за автоматично измерване на скорост и коефициента на затихване на ултразвукови вълни в твърди материали, при който едновременно се определя действителната дебелина на контролируемия материал и изминатия път на ултразвука в него. Двете стойности се обработват и скоростта или коефициента на затихване на ултразвука в материала се показва на цифров индикатор[1,2].

2. Цел на работата

За реализация на метода е разработен ултразвуков съвременен уред, който чрез специални изпитвателни клещи измерва скоростта на ултразвука – C , m/s и коефициента на затихване δ , db/mm на обемни надлъжни ултразвукови вълни в контролируемия материал. Уредът може да се използва и като модул към автоматизирана система за комплексен безразрушителен контрол на структурата и механичните свойства на материалите “MULTITEST” [3,4]. Целта на настоящата работа е да се направи и апробира метрологичното осигуряване на уреда. Да се представи кратко описание на уреда и се апробира за автоматично измерване на скоростта на разпространение и коефициента на затихване на обемни надлъжни ултразвукови вълни в материалите.

3. Описание на уреда

MULTITEST CD010 е универсален модулен ултразвуков уред (комплект от модулен ултразвуков дебеломер с А и В сканиране и базов модул за измерване на скорост и затихване на ултразвука) за едностранно измерване на дебелината и корозията на стените на метални и неметални съоръжения (котли, резервоари, съдове под налягане, обшивки и други изделия от черни и цветни метали, с гладки или грапави и корозирали повърхности, както и изделия от пластмаси и други материали с голямо затихване на ултразвука). Така също измерва автоматично скоростта и коефициента на затихване на ултразвука в материалите, чрез използване на различни режими, приспособления и софтуер с отворен код за измерване, визуализация и оценка на резултатите.

3.1. Особенности

Модулният уред има следните опции:

- А-Scan дисплей за измерване на корозия и други дефекти;
- В-Scan дисплей за изглед на сечението на измерената дебелина по дължината на материала;
- Измерване чрез първо ехо (Pulse-Echo) или ехо-ехо (Echo – Echo);
- Горна и долна граници на отклонение със звукови / визуални аларми;
- Режим за бързо сканиране;
- Вътрешната памет съхранява по 3 000 отчитания А-Scan или В-Scan;
- Възможност за показване и оценка на А-Scan и В-Scan на монитор чрез графичната програма LabVIEW;
- Единична калибровка от вграден еталон или скоростта се избира от списъка на материалите в паметта;
- 2 x 3,6V литиево-йонни батерии за 150 часа работа;
- Определя автоматично чрез измервателни клещи, скоростта и коефициента на затихването на ултразвукови надлъжни вълни в материалите при честота 5 MHz;
- Windows PC софтуер за прехвърляне на данни, графичен интерфейс и интерфейс USB, включени в комплекта.

4. Методология на измерване

Измерването се извършва по методите пулс-ехо (Pulse-Echo) или ехо-ехо (Echo – Echo). Определя се времето между два следващи един след друг ултразвукови ехоимпулса, което се явява критерий за изминатия от ултразвука път в материала, измерен от пиезопреобразователя. На практика времето, изминало между двата ехоимпулса се отчита с цифров брояч, като отчетената стойност представлява относителната дебелина на контролируемия материал d_y . Едновременно друг цифров брояч отчита действителната дебелина на материала d_o , измерена с оптоелектронен датчик. Настройката на работния диапазон се определя съгласно Инструкцията на уреда, според минималната и максималната дебелина на контролируемия материал така, че диапазонът на реалните дебелини на материала да се вмести в работния диапазон. За целта се правят две последователни измервания върху два участъка (с минимална и максимална дебелина) от еталона и се настройват така че:

$$d_{ye1} = d_{oe1} = d_{e1} \text{ и } d_{ye2} = d_{oe2} = d_{e2}, \quad (1)$$

където:

- d_{e1} , d_{e2} – действителна дебелина на измерените два участъка от еталона (фиг.1) ;

- d_{oe1}, d_{oe2} – реална дебелина на измерените два участъка, измерена с оптоелектронен датчик;
- d_{ye1}, d_{ye2} – относителна дебелина на измерените два участъка, измерена с ултразвук.

За пресмятането на скоростта на ултразвука се използва формулата:

$$C = k(d_y / d_o)C_e, \text{ m/s} \quad (2)$$

където: C_e – скорост на ултразвука в еталона ; k – коефициент на пропорционалност, отчитащ външните условия ; d_y – относителна дебелина на материала, измерена с ултразвук ; d_o – действителна дебелина, измерена с оптоелектронен датчик. В зависимост от използваните пиезопреобразователи, метода на измерване и контролируемия материал, скоростта на ултразвука може да се определи с точност от 0,3 % до 5%.

Коефициентът на затихване δ се определя на честота 5MHz по формулата:

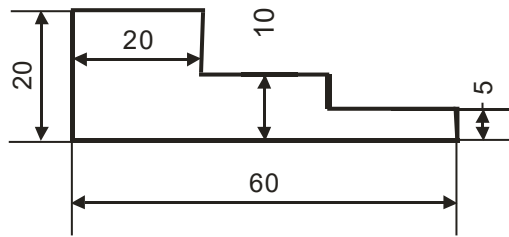
$$\delta = \frac{(A_1 - A_n) - B}{2d_o(n_1 - n_n)}, \text{ dB/mm} \quad (3)$$

където: n_1, n_n - номера на сравняваните импулси; B – дифракционна поправка, зададена предварително; A_1, A_2 – амплитуди на сравняваните импулси.

5. Метрологично осигуряване

Използват се сравнителни образци, еталонни образци и работни контролни блокове. Сравнителните образци са предназначени за получаване на основните корелационни зависимости на информационните параметри скорост $C, \text{ m/s}$ и коефициент на затихване $\delta, \text{ db/mm}$ на ултразвука от структурата и физико-механичните характеристики на контролируемия материал след термообработка, леене, синтероване или пресоване. Еталонните образци се използват за калибровка и възпроизводимост на измерванията. Работните контролни блокове (РКБ) се използват за настройка на дълбокомера, съгласно съответните стандарти. За уреда е предвидено следното метрологично осигуряване:

- Сравнителни образци от изследвания контролируем материал. Формата и размерите им се определят от използваните уреди и приспособления за тестване на образците. Повърхностите са шлайфани по специална технология, с цел невнасяне на влияние на обработката. Предвидени са, в зависимост от изходния материал, съответни термични и химико-термични обработки за освобождаване от начални механични напрежения.
- Еталонен вграден образец за възпроизводимост на резултатите. Изработва се от армко желязо с изчистена до $R_a < 0.3 \text{ mm}$ повърхност, с атестирани акустични характеристики и размери;
- Работен контролен блок. За калибровка на уреда се използват специални калибровъчни еталони. За желязовъглеродни сплави се използва еталон от армко (нисковъглеродно) желязо със стъпаловидна форма и атестирана скорост на надлъжната ултразвукова вълна (фиг. 1).



Фиг. 1. Стъпаловиден работен блок РКБ за настройка и калибровка на ултразвуков уред MULTITEST CD 010

Външният вид на уреда, заедно с РКБ 1 е показан на фиг. 2. Той може да работи както с батерии, така и на мрежа 220 волта. Работата с уреда е описана в Инструкцията за експлоатация.



Фиг. 2. Външен вид на уреда и стъпаловидния еталон РКБ1



Фиг. 3. Приспособление DK100

Уредът работи заедно с приспособление – изпитвателни клещи DK100 [3,4,5]. Те са предназначени за работа в лабораторни и производствени условия. Външният вид на изпитвателните клещи е показан на фиг. 3. Показани са и компонентите с които клещите могат да работят и с други видове модулни уреди, преобразователи и датчици за осъществяване на комплексен неразрушаващ контрол.

6. Аprobация на уреда и приспособлението

С уреда MULTITEST CD010 и изпитвателните клещи DK100 са проведени измервания с двоен осезател с честота 5 MHz на надлъжната скорост C_l на разпространение и коефициента на затихване на ултразвука δ в сравнителни образци от чугун и стомана с предварително определена скорост на ултразвука в тях по стандартен метод с универсален ултразвуков дефектоскоп с точност до $0,3\%$. За определяне точността на уреда, са измерени и еталонни стъпаловидни образци РКБ от армко желязо с атестирана скорост на ултразвука. Получените резултати са отразени в таблица 1.

Табл.1 Относителна грешка при сравнителния анализ на измерванията на образците

Материал на образците	Размери на образците	Метод на измерване	Грешка при измерване на C_l , %	Грешка при измерване на δ , %
Сив и сферографитен чугун	Φ 30 x 15 mm	Пулс-ехо	$\leq 10\%$	$\leq 15\%$
Конструкционна и инструментална стомана	Φ 30 x 15 mm 2-25 mm	Ехо-ехо	$\leq 0,5\%$	$\leq 4,5\%$
Стъпаловиден еталон РКБ от армко желязо	Размери съгласно фиг.1	Ехо-ехо	$\leq 0,3\%$	$\leq 1,5\%$

От таблица 1 се вижда, че метода на измерване пулс-ехо (генериращ импулс-първо ехо) е подходящ за материали с по-груба (хетерогенна) структура (отливки и заготовки от чугун, синтеровани порести материали и др.), където скоростите на ултразвука силно се различават и затихването е голямо, докато метода ехо-ехо е подходящ за материали с по – хомогенна структура (изделия от стомана, алуминий и др), където скоростите на ултразвука се различават с 30-50 m/s за различните структурни състояния, а затихването е малко.

7. Изводи

Разработеният високотехнологичен уред MULTITEST CD010 за автоматично определяне на скоростта и затихването на обемни ултразвукови вълни в твърди материали, може да се използва за безразрушителен контрол на структурата и механичните свойства на материали и изделия в лабораторни и производствени условия. За целта е необходимо предварително да са изследвани и уточнени корелационните зависимости между скоростта и затихването на ултразвука и определяните структурно-механични свойства на контролируемия материал.

Литература

1. Велев Г, Д. Димитров, Г. Георгиев, Метод и устройство за контрол на структурата на материали. РБ № 85497/2003.
2. Velev G, V. Latkovski, A method of ultrasonic study of materials. Э. Ж. “Техническая акустика”, Санкт Петербург, 3, 2003, <http://webcenter.ru/~eeaa/ejta/>.
3. Velev G, A. Markovski, B. Velev, New Devices and Means for Non-destructive Testing of Materials and Diagnostics of Facilities are Operating in Industry, NDTMS-2011 International Symposium on Non-destructive Testing of Materials and Structures, May 15-18, 2011 Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey, sept. 9-12, 2011.
4. Velev G., Y. Ivanova, A. Markovski, B. Velev, Complex Integrated System for Quality Control and Diagnostics of Machine-building Materials and Existing Industrial Equipment, ETNDT5 – 5th International Conference in Emerging Technologies in NDT 2011, Joanina, Grece, May 15-18, 2011
5. Velev B., Iv. Ivanov, Kr. Banov, Study of Ferromagnetic Materials with the Methods of Magnetoacoustic Emission and Magnetic Noise, NDT 2018, Volume 1, Issue 4, Year 2018, ISSN 2603-4018.