FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2000. március 24-25.

Ultrahangos berendezések alkalmazása változó hőmérsékletű próbatestek vizsgálatára; Kalibrálási görbék alkalmazása

Dr. Cselényi József, Hegedűs Csaba

Summary

Nowadays the use of ultrasound for testing is common in the industrial practice. Several unsolved problems are however e.g.: when the temperature is changing, the testing circumstances are changing too, and the precision of the inspection can decrease with a serious amount.

With our new autocalibration system, this problem can be solved. The theory of this article based on the properties of the ultrasound, and on the inspection circumstances, and the utilization of the laboratory circumstances.

1. Az ultrahang felhasználási területei

Az ultrahangokat a mérnöki gyakorlatban 2 alapvető területen használják:

- a nagy intenzitású (kHz-es frekvencián működő) ultrahangokat technológiai célokra használják (hegesztés, forrasztás, tisztítás, fúrás)
- a kis intenzitású (Mhz-es frekvencián működő) ultrahangokat roncsolás-mentes anyagvizsgálatra használjuk.

Az ultrahangos-, roncsolás-mentes anyagvizsgálatoknak számos területe van. Ezek közül a legjelentősebbek:

- a nagy pontosságú anyagvastagság mérések,
- a repedésvizsgálatok, belső anyaghibák feltárása, a hegesztések vizsgálata
- a feszültségvizsgálatok, stb.

2. Az ultrahangos anyagvizsgálatok eszközei, a vizsgálatot megelőző műveletek

A legfontosabb felhasznált eszközök:

- Ultrahangos anyagvizsgáló berendezés (Krautkramer USN52 típusú a mi esetünkben)
- Vizsgálófej (a mi esetünkben MSEB4-es típusú)
- Kalibráló-tömbök (esetünkben 9.75mm és 14.95mm vastagságú síküveg (fehér)-lapok)
- Kontakt folyadék (jelen esetben ez víz volt)
- Kábelek, tisztítóeszközök, stb

Az első lépés a kalibráló-testek felületének megtisztítása, majd pedig a hitelesítés elvégzése. Ennek során 2 adatot kell hitelesítenünk:

- A vizsgálandó darabban az ultrahang terjedési sebességét (sound velocity)
- Valamint a vizsgálófejben lévő áthaladás miatti úgynevezett késleltetési időt (probe delay)

Ennek ismeretében már hozzákezdhetünk egy a kalibráló-test anyagával megegyező és mind a vizsgálófej, mind a kalibráló-testek hőmérsékletével megegyező test vizsgálatához. (Ennek, valamint a kalibrálás szokásos részlépéseinek ismertetésétől eltekintek.)

3. A jelentősen különböző hőmérsékletű ultrahangos anyagvizsgálatok megvalósítása

Adott hőmérsékleten történő kalibrálás után egy másik hőmérsékleten történő vizsgálatoknál két tényező megváltozásával kell alapvetően számolni:

- A vizsgált testben az ultrahang terjedési viszonyai jelentősen megváltozhatnak (ez a hangterjedési sebesség megváltozásában ölt testet)
- A vizsgálófej hőmérsékletváltozásával, hőtágulásával megváltozik a fejben megtett

Mindezen tényezők alapvetően befolyásolják a mérés pontosságát, megváltozásával a hitelesítés érvénytelenné válik és a mérés értékelhetetlenné válik. Újabb hitelesítésre van szükség. Ennek megvalósítása meglehetősen körülményes, ugyanis az adott hőmérsékletű kalibráló-testekkel az adott hőmérsékletű vizsgálófej esetén kell kalibrálni általában szobahőmérsékleten. Könnyű belátni, hogy hőtartási és egyéb megvalósítási nehézségek léphetnek fel, távolság, így az ultrahang által megtett idő is, vagyis a késleltetési idő.

4. A kalibrálás regressziós görbéje, a görbe felvétele

Ezen állandó kalibrálás kikerülésére az alábbi módszert dolgoztam ki:

A vizsgálat előtt laboratóriumi körülmények között a vizsgálatához felhasznált fejjel (ez kisebb hőmérséklettartományban nem is feltétlenül szükséges) a vizsgált anyaggal megegyező etalonnal (kalibráló-tömb) felvesszünk egy úgynevezett kalibráló-görbét. Ezután a konkrét vizsgálatoknál csupán egyszer, egy adott hőmérsékletre kell kalibrálni a késleltetési időt (probe delay), és a terjedési sebesség kalibrálása folyamatosan történhet a kalibráló-görbe alapján történő leolvasással.

A görbe felvétele:

- A laboratórium hőmérsékletét megmérve, az etalonok méretét hitelesítjük.
- A kalibrálást elvégezzük az adott hőmérsékleten az adott etalonokkal.
- Ezután (a megfelelő hőtartást biztosítva) a vizsgálatnál szükséges felső hőmérsékleti határnál valamivel magasabb és az alsó hőmérséklet-tartománynál valamivel alacsonyabb hőmérsékleteknek megfelelő tartományban a pontossági igényeknek megfelelő hőközökkel az egyik kiválasztott etalon esetében kalibráljuk a terjedési sebességet a késleltetési idő változatlanul hagyásával. (A kalibrált vastagság a hőmérséklettől független módon a mért értéken veendő figyelembe!!!) Az így kapott összetartozó hőmérsékleti és sebességi adatokat regisztráljuk.
- A vizsgált etalonnak meghatározzuk a lineáris hőtágulási együtthatóját (α) (legalább 2 jelentősen eltérő hőmérsékleten megmérve pl. mikrométerrel a vastagságkülönbséget), vagy táblázatból kikeressük az együttható értékét.
- A kapott adatsor alapján lineáris regresszió-számítást alkalmazva kiszámítjuk a regressziós egyenes b_0 , b_1 paraméterértékeit úgy, hogy a pontpároknál a sebességadatokat $(1+\alpha\Delta t)$ -vel módosítjuk.

A kapott egyenes egyenletébe behelyettesítve a konkrét vizsgálat során alkalmazott hőmérsékletet, megkaphatjuk tetszőleges pontban a terjedési sebesség kalibrált pontosságának tekinthető értékét.

5. A vizsgálat során használt feltételezések, elhanyagolások

- A késleltetési idő hőmérséklettől való függését elhanyagoljuk.
- Ezt azért tehetjük meg, mert ez a tényező az ultrahangnak a fejen való áthaladásának idejétől függ. Ez az idő pedig a fejek többségénél tapasztalataink szerint elhanyagolhatóan változik, ami egyrészt adódik az áthaladás útjának rövidegéből, a viszonylag kis hőmérsékletkülönbségből, valamint a hőtágulás és az ultrahang terjedési sebességének kompenzált változásából.
- A hőtágulást a próbatestben lineáris hő tágulással közelítjük
- Ez szintén megengedhető az adott körülmények, a hőmérsékletváltozás viszonylagosan kis mértéke miatt.
- A sebesség változását lineárisan közelítjük

A vizsgálat során az alábbi nyers eredményeket kaptam (regresszió-számítás nélkül):

Mindkét függvényből jól látható a linearitás, ennek bizonyításának részletezésétől most eltekintek.

6. Az elvégzett vizsgálat, és az eredmények

A vizsgálat során a Miskolci Üveggyár által előállított fehér-síkúveg lineáris regressziós kalibráló-görbéjét készítettem el 8-60°C-os hőmérséklettartományban.

A vizsgálatához használt síkúveg etalon 9,75mm és 14,95mm vastagságúnak mértük 22°C-on.

Az USN52 típusú ultrahangos vizsgálati berendezést ezen a hőmérsékleten kalibráltuk az MSEB-4-es 4MHz-es vizsgálófejjel, majd az alábbi elrendezésben elvégeztük a sebességi adatok felvételét.

Vizsgálat során 60°C-os vízből indultam ki és a víz természetes hűlését kihasználva, valamint az alacsonyabb hőmérsékleteken jég adagolásával értem el a kívánt hőmérsékleteket.

A lineáris hőtágulási együtthatót 0,000008 [1/°C]-nak találtam. (Az ezzel módosított értékek az x-ek.)

Így a lineáris regressziós egyenes kiszámítása:

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \underline{\underline{-6,40609}} \quad b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x} = \underline{\underline{6044,52}}$$

Az egyenes egyenlete: $y = b_0 + b_1 x$

Ahol x_i -k a lineáris hőtágulási együtthatóval módosított mért értékek, az y_i -k a hőmérsékleti szintek.

A meghatározott egyenes és a felvett pontok eltérése láthatóan elhanyagolhatóan kicsi:

7. A tapasztalatok összegzése, fejlesztési lehetőségek

A vizsgálatok során kiderült, hogy az eltérő hőmérsékleteken történő kalibrálás egyszerűsíthető és egy úgynevezett regressziós kalibrálási görbével meghatározható a fő paraméterként szükséges terjedési sebesség. A vizsgálatot üvegre készítettem el, és csupán (a fej adottságaiból adódóan) 8-60°C-os mérési tartományban. Mivel léteznek olyan fejek, amelyekkel akár 200°C-on, vagy a felett is lehet mérni, így érdekes lenne a jövőben ezt is tovább vizsgálni.

Az is fontos előnye ennek a vizsgálatnak, hogy olyan esetben, amikor a terjedési sebesség nem lineárisan változik, hanem ettől esetlegesen eltér, akkor is alkalmazható ez az elv, csak nem lineáris regressziót, hanem parabolikus, exponenciális, vagy másféle regressziót kell alkalmazni.

A vizsgálat során hátránnyként merült fel, hogy a berendezés csak 1 visszhangjelet tudott vizsgálni egyszerre, így a visszhangjelek különbségét nem tudtam folyamatosan vizsgálni, csak a szélső hőmérsékleti pontokban végeztem ellenőrzést. Olyan berendezés esetében, ahol ez megoldható, a késleltetési idő változásának esetleges vizsgálata is elvégezhető, így a vizsgálat szinte teljesen egyenértékű kalibrálást tesz lehetővé (a laboratóriumi körülmények miatt talán jobbat is). (Ilyen berendezések már rendelkezésre állnak a piacon.)

Az eredmény ismeretében egy számítógép segítségével, amely a hőmérsékleti jel alapján soros kommunikáció útján állítani tudja a sebességi paramétert, a kezelő feladata rendkívül könnyűvé válik.

Én a vizsgálat során 2-szeres visszhangjelet vizsgáltam, de a vizsgálat elvégezhető 3-szoros, 4-szeres stb visszhangjelekkel is, amivel tovább lehet növelni a vizsgálat pontosságát és megbízhatóságát.

Irodalomjegyzék:

- [1] Theodor F Hueter - Richard H. Bolt: Sonics, Techniques for the use of sound and ultrasound in engineering and science., Massachusets Institute of Technology
- [2] A.P.Craknell: Ultrasonidos, 1983. Madrid
- [3] John William Strutt-Baron Rayleigh: The theory of sound
- [4] E.G. Richardson: Ultrasonic Physics, Elisevier publishing, London
- [5] Robert T. Beyer-DStephen V. Letcher: Physical ultrasonics., Academic Press New York and London
- [6] Cyril M. Harris: Handbook of acoustical measurment and noise controll, Columbia University. 1991.

Dr. Cselényi József / egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszék / Miskolc-Egyetemváros, Tel:46-365111(1029) / Fax: 46-367828

Hegedűs Csaba / doktorandusz, Miskolci Egyetem, Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszék / Miskolc-Egyetemváros, Tel:30-380144 / Fax: 46-367828