

RESULTADOS PRELIMINARES DE UNA CONSTRUCCIÓN DE SENSORES ULTRASÓNICOS

Albalat A.M. ^{a, c}, Ruzzante J.E. ^{a, c}, Carballal C.A. ^a, Cavalchini J. ^a, Elorriaga M. ^b, Antunez M. E. ^b

^a*Laboratorio de Ensayos no destructivos, Departamento de Mecánica, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Delta, ARGENTINA*

^b*Laboratorio de Química, Departamento de Química, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Delta, ARGENTINA*

^c*Grupo de Investigación en Acústica Submarina, Universidad Nacional de Tres de Febrero, ARGENTINA*

e-mail: aalbalat@gmail.com

RESUMEN

En este trabajo se exponen los resultados preliminares de la construcción de distintos “backing” para utilizarse en un sensor de ultrasonido. Estos deben tener características especiales de amortiguamiento y atenuación, que generalmente no figuran en los textos sobre el tema. El estudio fue realizado en el laboratorio de END y de Química de la Universidad Tecnológica Nacional Fac. Reg. Delta. El objetivo final de este trabajo es construir sensores de ultrasonido para la generación de ondas de Lamb con el objeto de usarlos en la detección de fallas en ductos. Para tal fin se ensayaron compuestos, previamente pesados y mezclados, todos a base de tungsteno, negro de humo, cerámica y en menor proporción, sulfato de cerio, óxido de plomo y óxido de zinc. También se ensayaron muestras con los componentes base solamente. El tiempo de solidificación fue de aproximadamente 12 hs. Una vez solidas se determinó la densidad de las mismas y se realizaron ensayos de ultrasonido. Se determinaron las atenuaciones acústicas de las muestras a una frecuencia de 5MHz utilizando equipos y sensores de END convencionales, con la técnica de transmisión. También se midió la resistencia eléctrica de las superficies frontales y posteriores de las muestras, con un medidor a cuatro puntas. Los resultados obtenidos muestran una gran atenuación acústica de las muestras, con una importante dispersión de los valores medidos de resistencia eléctrica. Por intermedio de microscopía se determina la morfología de las mismas. Disponiendo de las obleas piezoeléctricas se inicia la construcción de los primeros sensores que luego serán caracterizados.

Palabras Clave: Sensores, ultrasonido, backing, ondas, ensayos no destructivos.

Introducción a los Backings

Dentro de las diversas técnicas de ultrasonido, hay una de ellas que se encarga de verificar los defectos superficiales en tubos y chapas delgadas, generando y censando ondas de Lamb (un tipo particular de ondas superficiales) sobre la pieza. Para esto es requerido un sensor que genere ondas ultrasónicas, montado sobre una zapata (bloque de polimetimetacrilato con una pendiente particular según el material). El sensor o palpador, es constituido por un conector, un cable bipolar, un disco

piezoeléctrico, una carcasa metálica, una suela protectora y un amortiguador acústico (backing), que se utiliza para amortiguar el impulso inicial generado por el equipo de ultrasonido, el cual también se encarga de realizar la medida de la presión acústica.

El backing o amortiguador, es poco conocido en la literatura actual, por lo que se propone, fundamentalmente, un estudio de la atenuación acústica, y la resistencia eléctrica de unas muestras a realizar. Estos están formados por ciertos compuestos químicos mezclados y fraguados.

Los sensores de ultrasonido para ensayos no destructivos, poseen dos elementos centrales o fundamentales. Uno de estos es un disco piezoeléctrico, que se encarga de realizar la conversión entre energía eléctrica a mecánica y viceversa, y el amortiguador o backing, que va encima de este transductor, para atenuar la onda generada por la parte posterior, reduciendo el factor de selectividad o "Q" del piezoeléctrico. Otras definiciones sobre esta parte del sensor, radican en la utilización de la emisión del piezoeléctrico en una sola de las caras, como contramasa ubicada en la cara posterior que absorbe la energía mecánica en esa dirección, deteniendo la oscilación de la cerámica. De esta manera, se podrá aumentar la resolución del mismo, con la posibilidad de detectar defectos más pequeños. El valor de la resistencia eléctrica del amortiguador debe ser alto para evadir corrientes que fluyan sobre este, ya que esta corriente deberá ser máxima sobre los dos electrodos del piezoeléctrico. La impedancia acústica de la contramasa debe ser lo más similar posible a la del piezoeléctrico, para que haya una mayor transmisión energética hacia el backing y así evitar una reflexión devuelta hacia el cristal. Ramadas y otros diferencian los backings según su valor de impedancia acústica, como altos (16MRayl MKS), medios (8,1 MRayls MKS) y bajos (0,48 Rayls MKS). Generalmente (Low y Jones, Abas et al) se utiliza el tungsteno en polvo por su alto nivel de absorción acústica y por su densidad, lo que causa valores de impedancia acústica altos. Este debe tener un tamaño tal que sea comparable con una longitud de onda, de forma tal que la atenuación de la onda por difusión sea máxima. Por otra parte, la porosidad de la muestra cumple un rol en la atenuación acústica del backing. Para realizar transductores angulados, se debe utilizar un material como interfase que tenga poca pérdida por absorción del material, y tenga una impedancia acústica que no sea disímil a la del sensor ni a la de la carga utilizada (la pieza a analizar). Como en la mayoría de los casos se utilizará acero (material de las chapas y tubos) y el sensor será de PZT, se determinó que el polimetimetacrilato, más conocido como plexiglass, es el mejor material más idóneo.

En cuanto a la protección del cristal piezoeléctrico, debido del desgaste del mismo, se pueden usar diversas resinas o materiales para cuidar y mantener las prestaciones del sensor. Se conoce del trabajo de Rubio y Marrero, y de otros autores, algunos escasos resultados del backing, utilizando araldite, baquelita, epoxy, alumina y otros polímeros y resinas en conjunto la mayoría de las veces con tungsteno, un material característicamente muy duro. Abas et al obtuvieron varios de los parámetros buscados, modificando la proporción de tungsteno respecto del total de la muestra para transductores de 2 y 5 MHz, utilizando mezclas con una relación de 4:1, con resultados suficientes salvo para la atenuación acústica.

Materiales y procedimientos

Se realizaron dos mezclas diferentes, la primera con un acrílico dental y la segunda con un epoxy con dureza shore D82, ambas en conjunto con diferentes óxidos (sulfato de cerio (4), óxido de plomo (2), óxido de zinc, todas calidad analítica) con el fin de elevar la resistencia eléctrica. También a estas dos muestras se les agregó negro de humo (Cabot, Vulcan 6), con el fin de aumentar el amortiguamiento. A ambas mezclas se les agregó tungsteno (wolframio) en polvo. Algunas imágenes de estos compuestos se muestran en la figura 1.

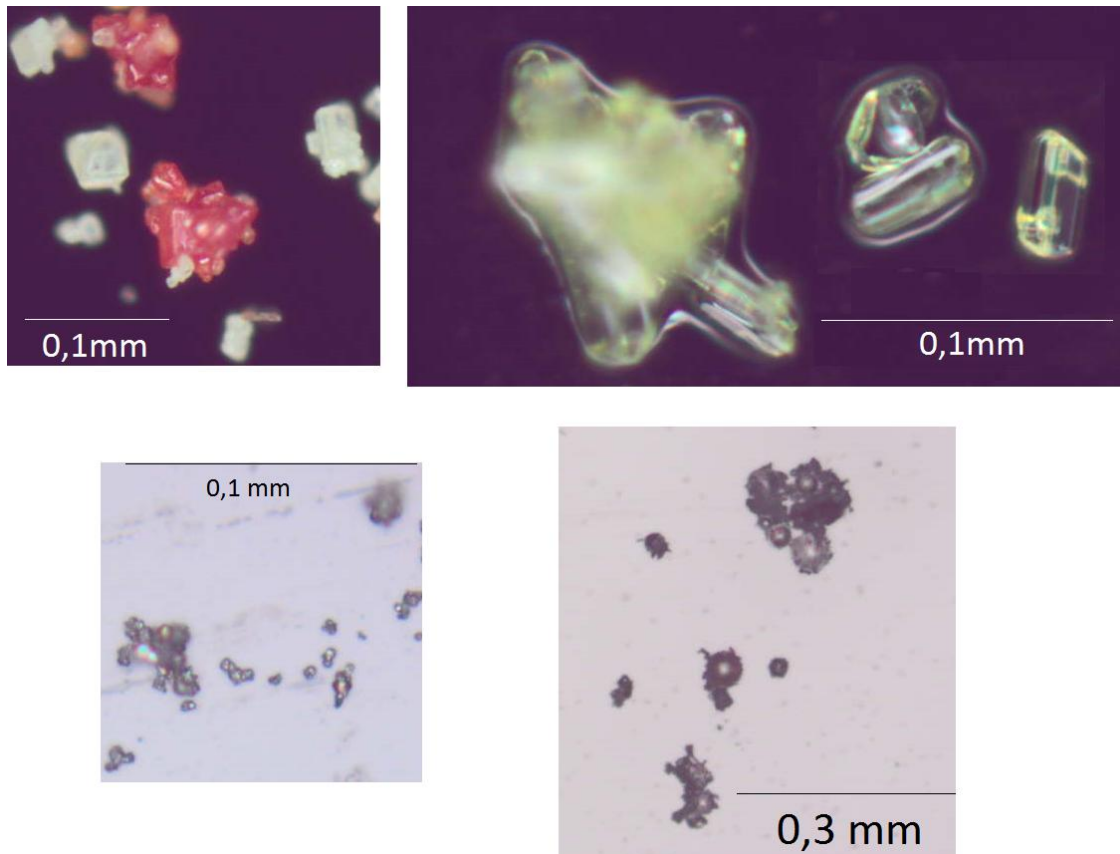


Figura 1. Fotografías tomadas con el microscopio Olympus BX51, en el laboratorio de Optoelectrónica y Metrología Aplicada de la UTN FRD. Fotografía superior izquierda: óxido de plomo, derecha: óxido de cerio. Fotografía inferior izquierda: tungsteno, derecha: acrílico.

Las composiciones utilizadas en la primeras mezclas, constaron de 3g de acrílico, 4g de solvente de acrílico, 3g de tungsteno, 1g de negro de humo y 0,04g de alguno de los tres óxidos previamente mencionados. La cuarta mezcla se realizó sin oxidos. El acrílico fraguó al mezclar sus dos componentes, una parte sólida en polvo con un solvente. Las mezclas se realizaron en un casquete cilíndrico de cerámica. Debido a que estas tres mezclas quedaron con una gran porosidad en su interior, con una pared de 3-5 mm, se realizaron otras 2 mezclas batidas y una más fraguada 48 hs en una bomba de vacío, todas con resultados similares, por lo que se procedió a utilizarse dos mezclas con epoxy. La primer mezcla de epoxy se realizó con 3g de EPO41A (resina de epoxy color marfil), 0,796 g de EPO41B (endurecedor de epoxy), 3,33 g de tungsteno y 1 g de negro de humo, mientras que la segunda mezcla necesitó de 24,035g de EPO41A (resina de epoxy color marfil), 2,09 g de EPO41B (endurecedor de epoxy), 12,375 g de tungsteno y 2,75 g de negro de humo. Esta última preparación lleva mayor porcentaje de tungsteno. La rigidez dieléctrica del epoxy está especificada como de 17 a 19 kV/mm, la cual es más que suficiente para los fines eléctricos del proyecto. Se midió la altura de las muestras de acrílico al fraguarse, la cual resultó en 1,5 cm. Luego las muestras se cortaron en discos de 3mm (acrílico) y de 4,7 mm y 15 mm (epoxy). La densidad de las muestras en acrílico es de 2007 Kg/m³ y de 1402 Kg/m³ y 2757 Kg/m³ para las muestras en epoxy.

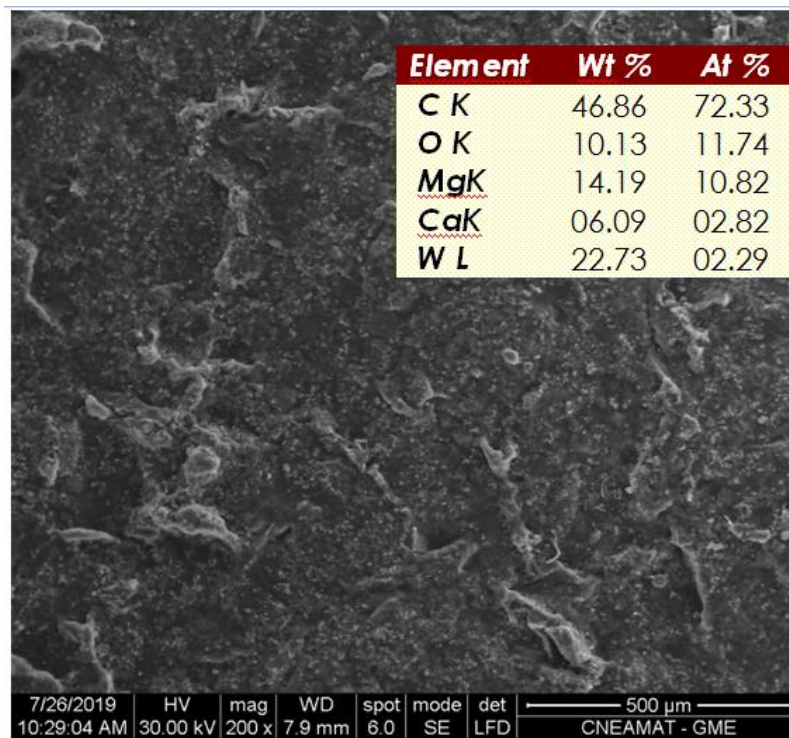


Figura 2. Fotografía electrónica de la muestra realizada con acrílico. En el margen superior derecho se muestra el porcentaje de peso y el porcentaje atómico. Las mismas se tomaron en la CNEA.

Resultados

Los resultados de las mediciones eléctricas sobre la superficie de las mezclas se muestran en la tabla 1. El método de medición a cuatro puntas, también conocido como método de Kelvin, es una técnica de medición de impedancia eléctrica que utiliza un voltímetro y un amperímetro para lograr mediciones más exactas de resistencia que al usar la técnica tradicional de medición a dos puntas. Se utilizó un equipo Signatone SP4 en conjunto con un medidor de impedancia. El nivel de tensión se eligió en 100V, comparables a la amplitud de tensión del pulser. Se tomaron 4 mediciones en cada cara, girándose la muestra 90° entre cada medición. Se registró el menor valor de resistencia medido.

Tabla 1. Resistencias medidas sobre las superficies de las muestras. Las primeras cuatro muestras fueron realizadas en base de acrílico odontológico.

Material	Cara superior	Cara inferior
Sin óxido	500 Ω	> TΩ
Óxido de plomo (2)	24 kΩ	15 MΩ
Sulfato de Cerio (4)	25 kΩ	550 kΩ
Óxido de Zinc	5 MΩ	> TΩ
Epoxy	> TΩ	> TΩ

Se utilizó un equipo de ultrasonido tipo pulso eco marca Sonatest 380M para realizar las mediciones de atenuación acústica de los backings. Se realizó la técnica de transmisión, con dos sensores en ambas caras planas. Los sensores elegidos fueron dos UTX CX-280, de 0,375" de diámetro y 5 MHz de frecuencia.



Figura 3. Fotografías de las mediciones de atenuación acústica utilizando la técnica de transmisión, de un bloque de acrílico de 5 mm (superior izquierda) y una muestra de 3 mm (base de acrílico, fotografía inferior izquierda). En la fotografía derecha se puede apreciar la pantalla de una medición realizada sobre la muestra de acrílico

La medición se hizo por comparación, entre un bloque de acrílico puro de 5mm de referencia y la muestra de epoxy de 4,7 mm, ya que no se pudo ver el segundo eco en la pantalla. Con una atenuación de 0,81 db/mm para el bloque (medida en 10 mm), a una ganancia de 18,5 dB para el primer eco a un 80% de altura total de pantalla ATP, se obtiene una atenuación de 4,2 db/mm para la muestra de epoxy, con una ganancia de 32,8 dB también para un 80% de ATP. Con la muestra de acrílico se obtuvo una atenuación de 5,13 db/mm por la diferencia de ganancia requerida para llegar al 80% ATP entre el primer (48dB) y segundo eco (65,4dB). Se consideró una pérdida de divergencia en campo cercano de 2dB. La velocidad de esta muestra se calibró a un valor de 2988 m/s por lo que se obtuvo una impedancia acústica de 6 MRayls MKS.

Para la muestra de 15 mm en epoxy, se utilizó un sensor MiTech F30 de 1MHz y 1", en modo simple (pulso-eco). Se midió el primer eco a una ATP del 80% con una ganancia de 31,5dB y el segundo eco a una ganancia de 63dB. Suponiendo unos 6dB de pérdida por divergencia, se obtiene una atenuación de 0,77db/mm. Cabe aclarar que la pérdida por divergencia que se asume para el cálculo de la atenuación es el peor caso ya que la zona de campo lejano comienza en los 65 mm. La velocidad del sonido se calibró en 2200 m/s, por lo que se obtuvo una impedancia acústica de 6 MRayls MKS. Para un bloque de acrílico de las mismas dimensiones, se obtuvo una atenuación de 0,28 dB/mm, asumiendo también una caída de 6 dB de pérdidas por divergencia.

Conclusiones

Se alcanzaron buenos niveles de atenuación acústica, de 5,18 veces y de 6,33 veces la atenuación del acrílico de referencia para 5MHz y de 2,7 veces en 1 MHz, mientras que las impedancias encontradas fueron de valor medias. Se intentarán conseguir impedancias más altas subiendo la proporción de tungsteno en las mezclas.

También se midió la resistencia eléctrica de una de estas muestras en un medidor de cuatro puntas, registrandose valores en función del óxido utilizado. Los resultados indicaron una gran dispersión de valores según la orientación de la muestra respecto a las puntas en la cara plana evaluada, aunque los valores de resistencia eléctrica encontrados en la muestra con óxido de Zinc son aceptables para

la realización de un backing con este material. Se deberán repetir los ensayos con una mayor cantidad de muestras.

Trabajo a futuro

El paso siguiente será caracterizar al piezoeléctrico que se utilizará en el prototipo (Impedancia real y compleja). A este prototipo se le realizarán las mismas mediciones, como así también se registrará la respuesta temporal y espectral a un pulso. Se deberá medir la impedancia acústica del piezoeléctrico elegido. También debe registrarse el ancho de banda del transductor (caída de -6dB respecto a la frecuencia de resonancia), la evolución de la amplitud de la señal acústica en función del tiempo, la relación señal a ruido, la resolución en acero y la longitud del pulso hasta -20dB respecto al máximo.

Agradecimientos

Agradezco al laboratorio de Optoelectrónica y Metrología Aplicada, al departamento de Mecánica y de Química de la UTN FR Delta y a Miriam Rocio Neyra Astudillo y Andrés Di Donato de la CNEA por las fotografías y mediciones realizadas para este trabajo.

REFERENCIAS

- PEÑA MAESTRE, M.R. "Diseño, construcción y caracterización de un transductor ultrasónico focalizado". Tesis de grado. Universidad Politécnica superior de Gandia. 2014.
- MORALES LOPEZ, E. "MODELADO, CONSTRUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE TRANSDUCTORES DE ULTRASONIDO PARA ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS". Tesis de grado. Universidad Autónoma de Occidente. 2012.
- PEREZ DÍAZ, A. et al. "Ultrasonic transducers: From analytical modelling to design optimisation and validation" ERASMUS MUNDUS MASTER IN COMPLEX SYSTEMS SCIENCE. Junio de 2014.
- ABAS, A.A. et al. "EFFECT OF BACKING LAYER COMPOSITION ON ULTRASONIC PROBE BANDWIDTH". IAEA INIS journal. 2010.
- LOW, G.C., JONES R.V. "Design and construction of short pulse ultrasonic probes for nondestructive testing". Ultrasonics. 1984.
- AMINI, M.H. "DESIGN AND MANUFACTURE OF AN ULTRASONIC TRANSDUCER FOR LONG-TERM HIGH TEMPERATURE OPERATION". Tesis doctoral. 2016.
- RUBIO C., MARRERO O." Fabricación de Transductores Ultrasónicos para Equipos Automatizados de inspección de líneas de Tuberías". NDT NET. 2010
- RAMADAS S.N., O'LEARY R.L., GACHAGAN A. "Ultrasonic Sensor Design for NDE Application: Design Challenges & Considerations". Proceedings of the National Seminar & Exhibition on Non-Destructive Evaluation. Diciembre de 2009.