

Medida del coeficiente d_{33} de piezocomposites por interferometría láser

F. J. CHINCHURRETA, F. MONTERO DE ESPINOSA

Instituto de Acústica CSIC, Serrano 144, 28006 Madrid

La medida del coeficiente piezoeléctrico d_{33} se realiza utilizando equipos como el Berlincourt Meter®, basados en un generador de fuerza calibrado internamente por un elemento piezoeléctrico de referencia que mide la relación de carga, Culombio/ Newton. Estos sistemas están absolutamente contrastados, tomando los grupos de investigación sus medidas como estándar. En el caso de estructuras tales como los composites piezoeléctricos, en los que la estructura está formada por materiales de muy distinta elasticidad, bien por este hecho, bien por la misma estructura, las medidas con el sistema descrito presentan una gran dispersión dependiendo del tamaño de la cabeza presionante y la presión del brazo. Dado que en el modelado de resonadores piezocomposite para su uso en aplicaciones con acoplamiento en aire es necesario conocer dicho parámetro sin incertidumbre, se presentan en el trabajo una serie de medidas sistemáticas de dicho coeficiente para varias geometrías de piezocomposites utilizando interferometría óptica. Se relaciona así mismo estas medidas con el resultado obtenido con el equipo estándar antes referido observando como cuanto más pequeño es el paso de red, más parecidas son los resultados con las dos técnicas.

Palabras clave: Caracterización Piezoeléctrica, Composites, Interferometría Óptica

Measurement of d_{33} in piezocomposites by optical interferometry

The measurement of piezoelectric coefficient d_{33} is made using devices like the Berlincourt Meter®, based on a force generator internally calibrated by a reference piezoelectric element which measures the charge ratio Coulomb/Newton. For structures such as piezoelectric composites, formed by materials of very different elastic properties, the measurements made by the described system present a great dispersion which depends on both the size of the pressing head and the applied arm pressure. This work presents a set of systematic measurements of d_{33} for several piezocomposite geometries by means of optical interferometry. These measurements are compared with those obtained with the Berlincourt. It is observed that both techniques render closer results as the net step is reduced.

Keywords: Piezoelectric Characterization, Composites, Optical Interferometry

1. INTRODUCCIÓN

La medida del coeficiente d_{33} es una herramienta muy importante para conocer la actividad piezoeléctrica de cerámicas ferroeléctricas polarizadas (1).

En la fabricación de composites piezoeléctricos, hay que controlar al final del proceso el grado de polarización de la fase piezoeléctrica. En el caso de los composites de tipo 0-3 o 3-3, es muy difícil saber si toda la fase piezoeléctrica ha alcanzado su grado de polarización máximo o no, ya que el campo eléctrico aplicado atraviesa un material con estructura geométrica complicada formada por fases dieléctricas muy distintas - plásticos junto a cerámicas ferroeléctricas tipo PZT. En el caso de composites tipo 1-3, es mucho más fácil ya que se puede partir de material cerámico polarizado y sólo hay que controlar la polarización por si durante el proceso se ha realizado un paso con capacidad de despolarizar parcial o totalmente. La temperatura no suele ser un problema de despolarización más que en los casos en los que se use como fase pasiva un material que ha de ser procesado a temperaturas en el

rango cercano a la temperatura de Curie del material piezoeléctrico.- poliamidas, vidrio, etc. - El problema es más de tipo mecánico, ya que cuando el paso de corte es muy pequeño, aumenta la relación superficie de corte/volumen lo que hace que muchos dominios se reestructuren elásticamente, perdiendo importancia los dominios con polarización constructiva en la dirección de polarización. En estos casos hay que proceder a la repolarización de los composites.

La medida del grado de polarización se puede hacer utilizando las Normas (1) y, por tanto, usando parámetros eléctricos en condiciones de resonancia (2). Esto se puede hacer cuando el composite ha sido fabricado correctamente en cuanto a la geometría resonante - disco perfecto, p.e.-. En el caso de que la geometría no sea perfecta, estas medidas conducen a graves errores de identificación de parámetros.

Para evitar malas interpretaciones es bueno realizar medidas de tipo cuasi-estático (3), con técnicas estándar con sistemas como el Berlincourt Meter®.

2. MEDIDAS DE CARGA: BERLINCOURT

El Berlincourt (4) mide la carga generada al aplicar una tensión mecánica a baja frecuencia. Este sistema, bien contrastado, puede dar falsos valores en el caso de que la presión no sea ejercida sobre la fase activa. – ver Figura 1-. En la Figura 1 se esquematiza el caso de la medida de un composite de paso fino. En este caso, la carga recogida por el Berlincourt cuando este aplica la tensión mecánica sobre una superficie que es en parte activa y en parte pasiva deberá ser algo menor que la recogida cuando la presión se ejerce sobre parte activa íntegramente. En la Figura 2, se muestra un caso extremo, cuando el paso del composite es tan grande como la superficie de apoyo del punzón del medidor. En este caso la medida puede ser muy diferente en distintos puntos del composite. Ha de tenerse en cuenta, que al ser medidas cuasi-estáticas, la geometría lateral de la cerámica no influye en la carga liberada por lo que, como se muestra en la Figura 3, la medida sobre una barra cerámica y la medida sobre una cerámica extensa del mismo material debe ser la misma.

3. MEDIDAS DE DEFORMACIÓN: INTERFEROMETRÍA

Como medida alternativa a la de carga eléctrica, se ha medido el d_{33} según su definición de deformación producida ante el campo eléctrico aplicado. Para medir la deformación, se ha utilizado un vibrómetro óptico comercial de la firma Polytec. El dispositivo experimental está esquematizado en la Figura 4.

El vibrómetro óptico Polytec es un instrumento que mide el movimiento de una superficie desde una posición remota mediante técnicas interferométricas (5). Esta compuesto por una cabeza óptica, donde se encuentra el interferómetro, prácticamente auto-contenido, y una unidad procesadora. El interferómetro está construido alrededor de un láser de Helio-Neon y se trata de un Mach-Zehnder modificado de tipo heterodino, es decir que utiliza haces de frecuencias diferentes para poder discernir cambios de dirección. En el caso del instrumento utilizado, la tensión de salida del interferómetro es una señal de frecuencia modulada, con una portadora de frecuencia fija modulada por el cambio de frecuencia Doppler producido por el movimiento de la superficie que se investiga. La amplitud está regulada por una constante, la eficiencia de conversión del sistema. Esta señal de salida puede ser procesada de dos formas distintas: utilizando un decodificador de velocidad o un decodificador de desplazamiento.

El decodificador de velocidad utiliza un demodulador de FM. Como el efecto Doppler debido al movimiento de la superficie causa un cambio en la frecuencia de la señal de salida del interferómetro que es directamente proporcional a la velocidad de la superficie, si dicha señal se decodifica utilizando un demodulador de FM, se produce una tensión de salida que depende directamente de la citada velocidad. Este decodificador permite medir velocidades de hasta 20 m/s en 5 rangos de medida con resoluciones desde 0,5 $\mu\text{m/s}$ hasta 2 $\mu\text{m/s}$ y una frecuencia máxima de 150 kHz.

El decodificador de desplazamiento utiliza un demodulador de fase. Este demodulador explota el hecho de que un desplazamiento de $\lambda/2$ en la dirección del haz de láser produce que la intensidad de salida del interferómetro cambie en un ciclo. Contando estos ciclos y realizando una conversión A/D del estado del contador se obtiene finalmente una tensión de salida que depende directamente del desplazamiento de la superficie.

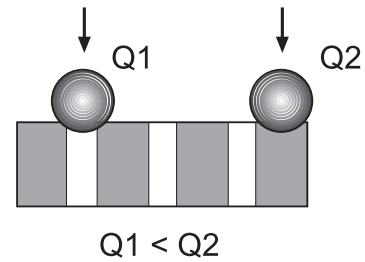


Figura 1. Medida con el Berlincourt de un composite de paso fino

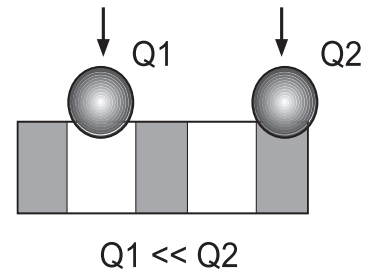


Figura 2. Medida con el Berlincourt de un composite de paso grueso

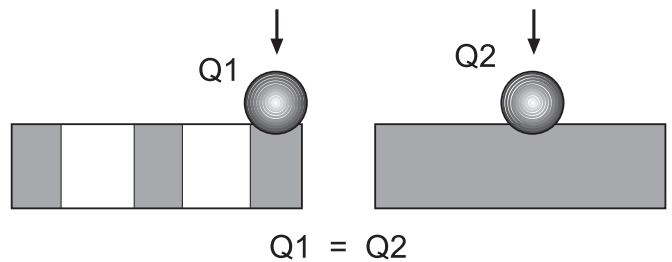


Figura 3. Medida con el Berlincourt de un composite extenso y de una cerámica.

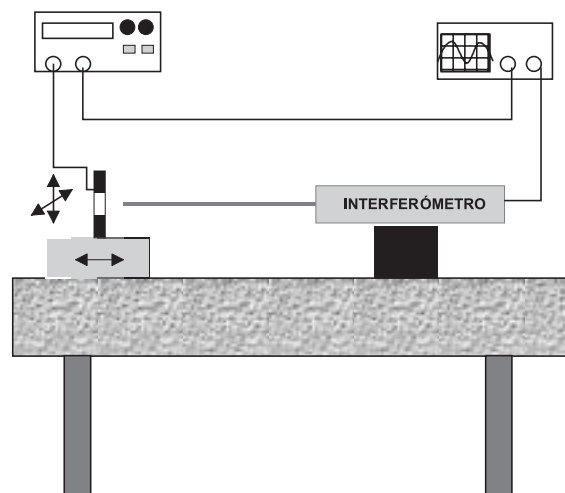


Figura 4. Sistema de medida interferométrico

Mediante el uso de técnicas de procesado de señal muy sofisticadas, el instrumento utilizado permite medir desplazamientos de hasta 82 mm en siete rangos de medida, mientras que su resolución máxima es de 8 nm. La frecuencia máxima es 50 kHz.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Materiales medidos

Para comprobar las diferencias entre los resultados obtenidos con las dos técnicas de medida estudiadas, se ha procedido a fabricar composites 1-3 con distinta separación y a medirlos en distintos puntos con ambas técnicas. También se ha medido una cerámica del mismo material que el empleado en la fabricación de los composites. Las características de los especímenes medidos han sido:

Cerámica: PZ27

Composite 1: PZ27-Araldite con unas dimensiones de 0,6 mm de lado para las barras cerámicas de sección recta y una separación entre barras de 0,25 mm

Composite 2: PZ27-Araldite con unas dimensiones de 1,3 mm de lado para las barras cerámicas de sección recta y una separación entre barras de 0,5 mm

Composite 3: PZ27-Araldite con unas dimensiones de 0,3 mm de lado para las barras cerámicas de sección recta y una separación entre barras de 0,6 mm

4.2 Mediciones con el Berlincourt

Los resultados de las mediciones efectuadas con el Berlincourt se presentan en la Tabla I. Para cada elemento medido, se presentan resultados obtenidos en distintos puntos, pudiéndose observar una clara dispersión, salvo en el caso de la cerámica donde, como era de esperar, todos los resultados coinciden dentro del error de medida (± 5 pC/N).

4.3 Mediciones con el Vibrómetro (interferométricas)

Con el fin de evitar problemas de linealidad en la respuesta de los composites utilizados, la alimentación eléctrica se ha limitado a 15 V (rms)

Se han utilizado cerámicas que presentaban un comportamiento piezoeléctrico lineal en el rango de frecuencias utilizado (resonancias en el rango de los cientos de kHz).

Con el fin de mantener unos niveles de ruido aceptables, el rango de frecuencias utilizado ha sido el comprendido entre 5 kHz y 7,5 kHz.

Como consecuencia de las frecuencias y las amplitudes de campo elegidas, en este trabajo solo ha sido posible utilizar el decodificador de velocidad.

Los resultados correspondientes a las mediciones realizadas con el vibrómetro se presentan en la Tabla II. Los valores presentados son la media de los obtenidos en varios puntos. Para cada posición de elemento activo elegida, en total se midieron 5 distribuidas en cruz alrededor del centro del composite, se midieron cuatro posiciones adyacentes de material inerte: derecha, izquierda, encima y debajo.

Debido a problemas de reflectividad y de alineación, se ha observado una dispersión experimental que conduce a un error estimado del 15 %.

5. CONCLUSIONES

De la comparación de los resultados obtenidos con el Berlincourt, Tabla I y con el vibrómetro, Tabla II, pueden extraerse las siguientes conclusiones.

TABLA I - VALORES DEL d_{33} (EN pC/N) OBTENIDOS CON EL BERLINCOURT

Cerámica	Composite 1	Composite 2	Composite 3
400	306	408	225
	356	344	210
	310	397	173
	340	305	219
	348	382	138

TABLA II - VALORES DEL d_{33} (EN pC/N) OBTENIDOS CON EL VIBRÓMETRO LÁSER

Frecuencia kHz	Cerámica	Composite 1		Composite 2		Composite 3	
		Cerámica	Plástico	Cerámica	Plástico	Cerámica	Plástico
5	415	321	301	375	279	380	256
7,5	410	321	295	370	280	360	240

1. Los resultados obtenidos para la cerámica con ambos sistemas coinciden dentro del error experimental estimado del vibrómetro (± 15 %)

2. Conforme va aumentando la separación entre los elementos activos del composite, los resultados se separan obteniéndose valores inferiores con el Berlincourt. Además, estos van disminuyendo con el aumento de la separación, mientras que los obtenidos con el vibrómetro se mantienen prácticamente constantes, dentro del error de la medición, para los diferentes composites.

Este resultado es lógico ya que, mientras con el Berlincourt medimos cargas por tensión mecánica aplicada, con el vibrómetro medimos deformaciones por campo eléctrico aplicado. Desde el punto de vista de la carga eléctrica la parte plástica del composite esta "muerta" y no contribuye a la carga total. Por ello el valor obtenido dependerá de la proporción de material activo sobre la que se apoye el actuador del Berlincourt al aplicar la tensión mecánica. Así se puede explicar tanto la dispersión de resultados obtenidos en la Tabla I para los distintos tipos de composites, como la disminución de los valores obtenidos de d_{33} según disminuye la fracción f de cerámica.

Sin embargo, desde el punto de vista de la deformación mecánica, la parte plástica del composite esta "viva" y la medida de la deformación de los elementos cerámicos del composite es independiente del tamaño de los mismos y del porcentaje cerámico f en el composite. Por eso, los valores observados para los composites medidos sobre partes activas se mantienen constantes dentro del error experimental para los diferentes composites. Las diferencias observadas para el composite 1, también apreciadas en la Tabla I, se deben al efecto conocido de aumento de la rigidez lateral de la parte activa al disminuir la proporción de polímero en el composite.

3. Para determinar el grado de actividad piezoeléctrica de un composite, dado por el coeficiente d_{33} , es más correcto medir las deformaciones de la componente activa del composite que las cargas producidas en la misma.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias a la financiación del proyecto de la CICYT TAP98—0911-C03-01.

Agradecemos muy especialmente al Prof. Basilio Jiménez y la Dra. Lorena Pardo del Instituto de Ciencias de Materiales del CSIC la ayuda prestada en la realización de las medidas experimentales.

BIBLIOGRAFÍA

1. American National Standard on Piezoelectricity. ANSI/IEEE Std. 176, 1987
2. IEEE Standards on Piezoelectric Crystals; Measurements of Piezoelectric Ceramics; Proc IRE 44 pp. 1161-1169, 1961
3. International Electrotechnical Commission. IEC Standard 483, 1976. Guide to Dynamic Measurements of Piezoelectric Ceramics with High Electromechanical Coupling
4. Manual de instrucciones del "Berlincourt Piezo d_{33} Meter"
5. Manual de instrucciones del Vibrómetro Polytec OFV-3000/OFV-302

Recibido: 31.05.01

Aceptado: 10.12.01

