

LA EMISION ACUSTICA COMO TECNICA DE ENSAYO NO DESTRUCTIVO

S. Mintzer

Dpto. Combustibles Nucleares, Gcia. Desarrollo
Comisión Nacional de Energía Atómica, República Argentina

INTRODUCCION

Métodos usuales para asegurar integridad estructural descansan sobre inspecciones periódicas, efectuándose éstas generalmente por la aplicación conjunta de una serie de técnicas (Ultrasonido, Rayos X, Termografía, Corrientes Parásitas, etc.), en algunos casos (dependiendo del tipo de estructura). La inspección puede insumir mucho tiempo, costo y personal. De acá que sea deseable contar con una técnica de monitoreo capaz de operar mientras el sistema en inspección esté funcionando, es decir que no sea necesario desmontarlo, detenerlo o destruir alguno de sus componentes, que el monitoreo pueda efectuarse a distancias relativamente grandes y que pueda ser fácilmente automatizado. Estas características son aún más importantes en el caso de sistemas con limitaciones de acceso y restricciones de seguridad. Con tales propósitos y debido a que la Emisión Acústica (E.A.), técnica nueva, presenta potencialmente estas posibilidades, en los últimos años existe considerable interés en su desarrollo. En este trabajo se efectúa un resumen sobre: instrumentación, método de localización de fallas, principales aplicaciones tecnológicas y posibilidades y limitaciones actuales de la E.A. como técnica de Ensayo No Destructivo.

FUNDAMENTOS Y ANTECEDENTES HISTORICOS DE LA TECNICA

La Emisión Acústica (E.A.) es la generación de ondas elásticas de tensión, en general de muy baja amplitud, debido a la energía liberada en los rearrreglos estructurales de un material, producidos generalmente por un estado de tensiones. En este sentido la E.A. difiere de la mayoría de las técnicas tradicionales de inspección en que en lugar de introducir una determinada forma de energía como es el caso en: Radiografía, Ultrasonido, Corrientes Parásitas y analizar como se refleja, atenúa o dispersa, es el mismo material que produce señales acústicas en el proceso de evolución hacia su estado de equilibrio. Una analogía comparativa, de la vida diaria, que se usa para describirla, es la del médico provisto de un estetoscopio al revisar un paciente.

Las ondas acústicas son emitidas por los materiales en diversos procesos dinámicos, tales como: a) nucleación y propagación de fisuras; b) deformación plástica; c) transformaciones de fases, etc. y comprende una diversidad de fenómenos, desde actividad microsísmica hasta reorientación de dominios magnéticos.

Mason (1) en USA fue uno de los primeros en observar E.A. en el rango de frecuencias de ultrasonido durante el maclado mecánico de muestras de Estaño. Sin embargo, no pudo reproducir los resultados en otros materiales. Los primeros trabajos sistemáticos de E.A. se remontan a Kaiser (2, 3) en Alemania, quien fija las bases generales de los sistemas actuales de detección. Si bien los sistemas electrónicos a su alcance no le permitían niveles adecuados de detección, un resultado importante que obtuvo es el efecto que lleva su nombre (Efecto Kaiser): no se produce E.A. en el material al ser cargado nuevamente hasta que el material no alcance el nivel previo de carga final (la excepción de la regla la constituye los materiales deformados a temperaturas relativamente elevadas que presentan recuperación dinámica (4)). En forma errónea Kaiser atribuyó la

E.A. en deformación plástica al movimiento de bordes de grano (5).

A partir de mediados de la década del 60 y principalmente debido al desarrollo de instrumental electrónico apropiado la E.A. adquiere nuevo impulso y comienza a ser utilizada como técnica no destructiva y herramienta de investigación (Para una revisión reciente sobre este último aspecto Ref. 6). En lo que se refiere a América Latina, la técnica se introdujo a partir de la década del 70 debido al trabajo de Pascual en Bariloche (7).

INSTRUMENTACION Y PROCESAMIENTO DE LAS SEÑALES ACUSTICAS

Debido a que las ondas de E.A. son en general de muy baja amplitud, para su detección es necesario la utilización de transductores piezoeléctricos (o de otro tipo) de elevada sensibilidad en sus frecuencias de resonancia (dependiendo del tipo de cristal piezoeléctrico utilizado). Debido a que los transductores van colocados en la superficie del material bajo inspección, el modo de interés para la detección son las componentes superficiales y de corte de las ondas. Una vez detectada la señal, el procesamiento de la misma depende del método utilizado. En el caso de conteo por "Ring Down", en su esquema más simple, la señal del transductor se preamplifica, se filtra para eliminar componentes indeseables de ruido (la selección de un filtro pasa-alto o pasabanda y de su frecuencia depende del espectro de frecuencias del ruido de fondo), nuevamente se amplifica, condiciona y luego se hace pasar por un discriminador de voltaje. El procedimiento consiste en determinar, mediante un contador, el número de veces que la señal sobrepasa el nivel de discriminación. Información adicional sobre la naturaleza de las señales puede obtenerse por: Análisis de Amplitudes: con el acoplamiento al sistema anterior de un detector de amplitudes de pico y un analizador de amplitudes.

Análisis de Frecuencias: mediante el acoplamiento de analizadores de espectros o analizadores de correlación (potencia espectral o transformada de Fourier).

Sistemas como los descriptos anteriormente pueden registrar un proceso por vez y son adecuados para uso en laboratorio. Para el monitoreo de estructuras grandes o complejas (como en el caso del sistema de refrigeración de reactores nucleares) las señales pueden provenir de diferentes áreas a la vez y es necesario utilizar sistemas mucho más sofisticados que incluyen etapas especiales de amplificación, filtrado y de procesamiento de las señales y de computadora con pantalla visual para la localización de las fuentes emisoras (Fig. 1). Dichos análisis se efectúan en línea y en tiempo real durante el ensayo.

PROCEDIMIENTO DE LOCALIZACION DE FALLAS

La detección de la ubicación de fallas acústicamente activas en estructuras se efectúa mediante el método de triangulación hiperbólica usando cuatro o más transductores a diferentes distancias o ángulos y se basa esencialmente en la diferencia de los tiempos de arribo de los pulsos acústicos a los transductores. La diferencia de las distancias desde la fuente emisora a un par de sensores es igual al producto de la velocidad del sonido en el medio por la diferencia de tiempo para la propagación de la onda. Este producto es una constante y es la definición de una curva hiperbólica con los focos en las posiciones de los sensores y la fuente emisora sobre la curva. Mediante otro par de sensores, en cruz respecto a los anteriores, se puede definir otra hipérbola. La solución numérica con computadora de los puntos de intersección de las hipérbolas permi-

te localizar la falla. También la pantalla permite una visualización gráfica de la posición de la falla.

APLICACIONES TECNICAS DE LA EMISION ACUSTICA

Evaluación de Integridad Estructural:

Existen tres métodos principales para la evaluación de integridad de estructuras y componentes por E.A., a saber: i) Ensayo de Prueba: por aplicación de tensiones considerablemente superiores a las tensiones de trabajo usuales de la estructura. De este modo se puede verificar si existen fisuras con factores de concentración de tensiones (K) riesgosos a la estabilidad de la estructura. Para el crecimiento y propagación de fisuras el K es más importante que el tamaño de la fisura. Este factor depende de la geometría del cuerpo, la forma, tamaño y localización de la fisura; ii) Inspecciones Periódicas: en forma periódica se introducen tensiones de prueba: 110% a 125% de las tensiones de trabajo. Se hace uso de la irreversibilidad de la E.A. (Efecto Kaiser); iii) Monitoreo Continuo: es necesario destinar un equipo de E.A. para el registro permanente de la actividad acústica de la estructura.

Las fallas que potencialmente pueden afectar la integridad de estructuras fabricadas resultan de cuatro fuentes básicas: fisuras existentes en el material de partida; fisuras introducidas en el proceso de conformado; fisuras introducidas en el proceso de unión de las partes y fallas que resultan críticas como resultado del crecimiento de las fisuras debido a: tensiones residuales, fatiga, creep, corrosión bajo tensiones o fragilización por hidrógeno u otros agentes agresivos.

La estructura puede evolucionar hacia su estado de menor energía desarrollando condiciones inestables localizadas mucho antes de que el sistema en conjunto sea inestable. Así las tensiones pueden estar dentro del límite establecido por el diseño, sin embargo la región próxima a una fisura puede sufrir deformación localizada debido a concentración de tensiones generando ondas acústicas.

Por otra parte se ha detectado E.A. de este tipo en una diversidad de materiales, la mayoría de metales, aleaciones, compuestos (reforzados con fibras o endurecidos por dispersión de una segunda fase), cerámicos, hormigón, etc. Estas circunstancias, permiten que la E.A. se esté utilizando para la evaluación de integridad de una amplia variedad de estructuras industriales y civiles, tales como: recipientes de presión de plantas químicas, petroquímicas o gaseoductos, recipientes de almacenamiento de alta presión y sistemas de tuberías complejos, puentes, estructuras navales y aéreas, recipientes de presión nucleares, componentes de estructuras sometidos a elevadas temperaturas de trabajo (en general inaccesibles a otras técnicas de inspección), etc. Entre otros y a modo de ejemplo se puede acotar:

- La Jersey Nuclear Co., utilizó (8) la técnica de E.A. durante un ensayo de preservicio en un recipiente de presión nuclear de un reactor. Diez de las áreas reveladas como sospechosas por E.A. fueron confirmadas posteriormente por ultrasonido. Tres de las áreas restantes eran inaccesibles a ensayos por ultrasonido.

Luego de la pérdida de un avión F111, la General Dynamics efectuó (9) una evaluación por E.A. de toda la flota, encontrándose en algunos casos fisuras que podrían haber resultado peligrosas. De acá surgió la idea de

incorporar en el futuro y con el desarrollo de una electrónica mejorada y más compacta un pequeño equipo de E.A. en cada avión para monitoreo continuo en vuelo.

- La Exxon Nuclear Co. ha aplicado (10) con éxito la técnica no solo para detectar fisuras en crecimiento, también para pérdidas pequeñas en tuberías y líneas de transmisión de gases, vapores y líquidos a presión. El fluido que escapa da origen a una señal de ruido con un espectro amplio de frecuencias. El espaciado de los transductores del estado de la tubería y si es bueno puede alcanzar los 100 metros.

- Durregan-Endevco ha aplicado (11) la técnica para evaluar integridad en puentes y cables de suspensión de puentes (entre otras aplicaciones). Las aplicaciones estructurales de la E.A. se han centrado principalmente sobre tres problemas: detectar la presencia de fisuras, localizarlas e informar sobre la significación de las mismas a la estabilidad de la estructura.

Estabilidad de Minas:

Se está utilizando (12,13) la E.A. para el monitoreo de actividad microsísmica (E.A. de rocas) con el fin de establecer factores de seguridad en minas. El líquido o gas en capas subterráneas, bajo presión, ejerce una carga progresiva sobre las rocas provocando grietas, las cuales al propagarse son detectadas por E.A.

En Soldadura:

En una soldadura o en sus inmediaciones es frecuente hallar fisuras generadas por tensiones de naturaleza térmica o por reacciones de transformación, en el proceso de nucleación o crecimiento se produce E.A. La principal ventaja sobre otras técnicas (radiografía y metalografía) es que la detección se efectúa en tiempo real. En algunos casos (14,15) se han localizado fisuras y porosidades, que pasaron por alto mediante radiografía.

APLICACIONES EN OTRAS AREAS

Efectos Magnéticos:

Por intermedio de E.A. se pudo detectar (16) los cambios discontinuos producidos en la magnetización de muestras ferromagnéticas por reorientación en la dirección de spin de un número relativamente pequeño de átomos. La E.A. producida se atribuye a acoplamiento magnetoelástico.

Transformaciones de Fases:

Se utiliza para establecer la producción de la transformación martensítica en diversos materiales (17,18). Los resultados indican que E.A. presenta mayor sensibilidad que la tradicional por medición de resistividad.

Como aplicaciones adicionales puede mencionarse: estudio de la deformación plástica de materiales, ruptura de capas de óxido en corrosión y corrosión bajo tensiones, para control de piezas flojas en equipos en curso de ensamble, etc.

VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LA TECNICA

Limitaciones:

- i) Se pueden introducir señales espúreas debido al ruido de fondo, sea mecánico o eléctrico en el rango de operación de los sensores acústicos. Si es elevado, sólo los pulsos más energéticos asociados al proceso de interés pueden ser detectados. En este caso es muy importante optimizar el funcionamiento del equipo de E.A. a fin de que la emisión de baja amplitud de pulso pueda ser detectada sobre el ruido. Este problema es especialmente delicado en el caso de recipientes nucleares en servicio (cavitación, ruido mecánico y eléctrico) y en estructuras aéreas (vibraciones).
- ii) La estructura o componente a ensayar debe estar sometido a tensiones.
- iii) No detecta fisuras estáticas.
- iv) La E.A. es marcadamente dependiente del material. También y por razones no bien conocidas, existen algunos materiales silenciosos (o sea en los cuales no se detecta E.A.).
- v) La base científica de la tecnología es incompleta. Un conocimiento (a la fecha no logrado) de la generación y comportamiento de tales ondas de E.A., permitirá un mejor aprovechamiento de la información, ya se trate en el campo tecnológico como en el de aplicación a la investigación.

Ventajas:

- i) Detección y localización remota de fallas.
- ii) Método integral, cubre el 100% de la estructura.
- iii) Detecta fisuras activas (nucleación o propagación que son usualmente más peligrosas.
- iv) Alta sensibilidad.
- v) Repuesta en tiempo real y no a través de un ensayo a posteriori como es el caso en algunas técnicas.
- vi) No es necesario parar, desmontar o destruir el componente bajo inspección.
- vii) Puede trabajar en condiciones de muy difícil acceso a otras técnicas.
- viii) El sistema de E.A. es de montaje rápido.

REFERENCIAS

1. W. Mason, H. McSkimin, W. Schockley. Phys.Review:1948,73,1213.
2. J. Kaiser, Ph.D.Thesis, Technische Hochschule, Munich 1950.
3. J. Kaiser, Ark.Eisenhulttenwesen: 1953,25,43.
4. S. Mintzer, R. Pascual, R. Volpi. Scripta Met.: 1978,12,531.
5. R. Fridman, R. Pascual, R. Volpi. Scripta Met.: 1975,9,1267.
6. H. Wadley, C. Scruby, J. Speake, Intervat.Metals Review; 1980,2,41.
7. R. Pascual, Scr.Metall.: 1974,8,1461.
8. "An approach to pre-service and in-service inspection of nuclear reactor coolant systems using A.E. analysis", Jersey Nuclear Co. Richland, Washington. Rep.
9. W. Buntin, Aeronautical Journal, Oct. 1972.
10. D. Pany, Exxon Nuclear Col. Rep. XN-201.
11. Dunegan-Endevco New sletter on A.E. 1973,I(1).

12. J. Panken, R. Kistler, L. Thomas, Mining Cong.J:1967,53,28.
13. H. Hardy, ASTM-STP 505, 1971.
14. K. Notvest, The Welding Journal:1966,45,1735.
15. C. Day, Rep.BNWL-902. Batelle Northwest, Richland, Washington.
16. A. Lord, Acustica:1967,18,187.
17. G. Speich, R. Fisher, ASTM-STP:505 (1972).
18. R. Pascual, M. Ahlers, R. Rapacioli, W. Arneodo, Scripta Met.:1975,9, 79.

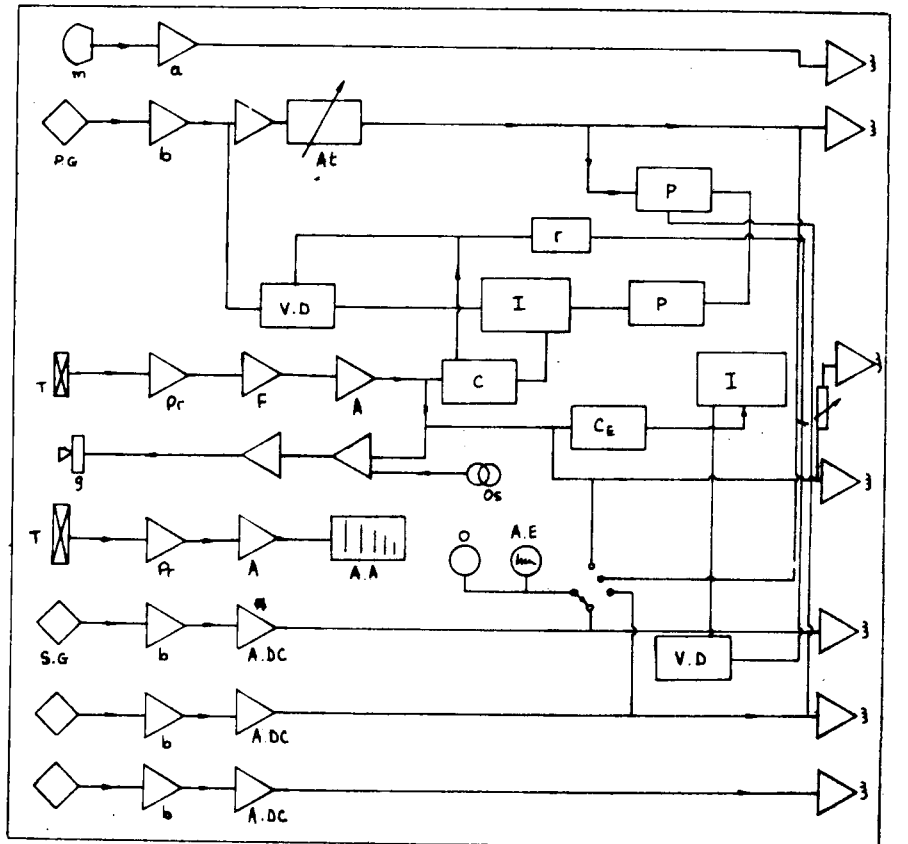


FIG. 1