

Efectos no-lineales en aplicaciones de los ultrasonidos de potencia

Juan A. Gallego Juárez

Instituto de Acústica, CSIC, Serrano, 144, 28006 Madrid

Resumen

La aplicación de los ultrasonidos de potencia en procesos industriales, se basa, generalmente, en la utilización de fenómenos no-lineales ligados a la propagación de ondas de amplitud finita, tales como la distorsión de la onda, la presión de radiación y la saturación acústica. Estos fenómenos, dan lugar a una serie de efectos, que se traducen en: producción de calor, agitación, corrientes, cavitación, difusión, fricción, ruptura mecánica, etc. Estos efectos, que se pueden presentar solos o asociados, se aprovechan para la producción y/o mejora de variados procesos industriales.

Existen aún un gran número de posibles aplicaciones de los ultrasonidos de alta intensidad que no han sido suficientemente exploradas. En particular, la utilización de los ultrasonidos de potencia en gases y en medios multifásicos constituye un área de notable potencial. En este trabajo se presenta una breve revisión de algunas nuevas tecnologías en desarrollo y su relación con los efectos no-lineales sobre los que se fundan.

Introducción

El empleo de los ultrasonidos de alta intensidad en procesos industriales se fundamenta en la utilización y aprovechamiento de efectos no-lineales producidos por las variaciones de presión de gran amplitud. En los procesos de alta intensidad, la energía se transfiere desde el elemento de transducción al medio a través de radiadores o elementos de transmisión. Por tanto, los efectos no-lineales pueden estar inicialmente presentes en los componen-

tes del transductor y, después, en el medio.

Los materiales empleados en los transductores ultrasónicos de potencia están sometidos a grandes esfuerzos y deformaciones. Por tanto, la primera consideración al diseñar un transductor de potencia consiste en analizar el comportamiento no-lineal de los materiales que lo constituyen.

Los efectos permanentes que los ultrasonidos de alta intensidad pueden producir en un medio, son consecuencia de fenómenos no-lineales que no se presentan a baja intensidad. De hecho, la teoría básica de la propagación, desarrollada con ecuaciones lineales, es capaz de explicar solo aquellos fenómenos que se producen cuando la presión acústica, la velocidad de vibración y las variaciones de densidad son despreciables frente a la presión estática, la velocidad de propagación en el medio y la densidad, respectivamente. Estas condiciones no se satisfacen con los ultrasonidos de alta intensidad que presentan amplitudes finitas (y no infinitesimales): en estos casos, hay que tener en cuenta, en el tratamiento matemático, los términos no-lineales de las ecuaciones.

Los fenómenos más importantes relacionados con los campos ultrasónicos de amplitud finita son: distorsión de ondas, saturación acústica producida por la atenuación no-lineal y presión de radiación. Estos fenómenos generan una serie de efectos físicos que dan lugar a diversas aplicaciones de los ultrasonidos de alta intensidad. Los efectos más conocidos son: producción de calor, agitación, corrientes, cavitación, difusión, ruptura mecánica, etc. Estos efectos se usan en un amplio rango de tecnologías de procesos ultrasónicos tales como mecanizado, soldadura, tre-

filado, formación de piezas metálicas, y densificación de polvos en sólidos; limpieza, aglomeración de partículas, desespumación, secado, deshidratación, atomización, desgaseado, etc. en fluidos.

Algunos de estos procesos han sido introducidos ya en la industria, pero un gran número permanece aún a nivel de laboratorio. En particular, los ultrasonidos en fluidos (especialmente en gases) representan un ejemplo significativo de un campo de aplicación que no ha sido suficientemente explotado. Esto es probablemente debido a los problemas relacionados con la generación de ondas ultrasónicas de alta intensidad en fluidos y a la falta de un conocimiento profundo de la influencia de los efectos no-lineales en los complejos mecanismos que intervienen en los procesos.

Este trabajo presenta algunas de las nuevas tecnologías ultrasónicas actualmente en proceso de desarrollo (precipitación de humos, limpieza de tejidos, desespumación, filtrado y deshidratación) y su relación con los efectos no-lineales originados por la generación de campos acústicos de alta intensidad y su interacción con el medio procesado.

Efectos no-lineales en transductores de potencia.

Un transductor clásico para procesos ultrasónicos de potencia se compone de un elemento piezoeléctrico de transducción en un estructura sandwich y una o más líneas de transmisión, llamadas amplificadores mecánicos, formadas por elementos metálicos resonantes a media longitud de onda en vibración extensional. Además, para aplicación en fluidos, una placa de gran

área vibrando a flexión puede ser usada como radiador [1].

Los materiales utilizados generalmente para los transductores de potencia son aleaciones de aluminio duraluminio y de titanio (Ti-6Al-4V). El comportamiento de estos materiales bajo grandes esfuerzos de alta frecuencia es importante para el diseño y construcción de los transductores. En esta línea, se ha llevado a cabo un estudio teórico y experimental de aleaciones metálicas sometidas a vibraciones flexionales y de amplitud finita y se han desarrollado métodos para medir el parámetro de no-linealidad y para determinar los límites de formación admisibles [2, 3]. Los valores obtenidos para el parámetro de no-linealidad de las aleaciones de aluminio y titanio analizadas fueron de 32 y 28 respectivamente. A pesar de la similitud de esos valores, el comportamiento bajo esfuerzos ultrasónicos elevados de la aleación de aluminio resultó ser muy diferente de la de titanio. De hecho, los límites de deformaciones obtenidos con cada metal difieren en un orden de magnitud: 22.4×10^{-4} para la aleación de aluminio y 2.2×10^{-3} para la aleación de titanio. En consecuencia, el límite de la atenuación constante es mucho más bajo para la aleación de aluminio, de manera que este material cambia sus características cuando es sometido a esfuerzos acústicos de una intensidad relativamente alta. Por tanto, la aleación de aluminio no resulta la más apropiada para las aplicaciones de alta potencia, sobre todo si se confronta con el comportamiento de la aleación de titanio.

Por otra parte, de la comparación entre las ondas extensionales y flexionales de amplitud finita se dedujo que para intensidades similares, las ondas flexionales presentan una no-linealidad más atenuada. Ello confirma la conveniencia del uso de elementos vibrando a flexión en los transductores ultrasónicos de potencia.

Aplicación de los efectos no-lineales

Se revisarán brevemente a continuación los efectos no-lineales que in-

tervienen en ciertos procesos ultrasónicos actualmente en desarrollo.

Precipitación de humos

La energía acústica de alta intensidad puede producir aglomeración de partículas muy finas micrónicas y submicrónicas en suspensión en un fluido generando partículas de mayor tamaño. Este proceso se aplica en la actualidad para precipitación y limpieza de humos en centrales térmicas de carbón, donde las partículas submicrónicas representan una fracción importante de la emisión de partículas. [4]

Los principales efectos no-lineales que juegan un papel durante el movimiento vibratorio en el desplazamiento y arrastre de partículas por inducir el proceso de aglomeración son: la presión de radiación ejercida sobre las partículas, las diferencias de viscosidad del medio que se producen entre la fase de compresión y la de rarefacción, las diferencias de fase en las vibraciones de las partículas en el medio y la distorsión de la onda. La interacción final entre partículas puede ser atribuida al desplazamiento relativo entre partículas de distintos tamaños (interacción ortocinética) y a la acción de fuerzas hidrodinámicas que resultan de una distorsión mutua de los campos de flujo alrededor de las partículas (interacción hidrodinámica).

Filtrado y deshidratación

La energía ultrasónica puede ser utilizada para mejorar los procesos de separación sólido/líquido. Algunos procesos de separación están basados en efectos lineales: la imposición de un campo acústico resonante en una suspensión combinada con el flujo del fluido en una determinada dirección. La aplicación de ultrasonidos de alta-intensidad puede llevar a mejorar la eficacia de separación sólido/líquido en proceso de filtrado. Se han considerado algunos mecanismos no-lineales: aglomeración de partículas, cavitación y microcorrientes acústicas [5, 6]. La eficacia de filtración baja considerablemente a medida que disminuye el tamaño de las partículas en suspensión. Por tanto, la aglomeración de partículas, puede ser considerada como un mecanismo para mejorar este proceso.

La aglomeración permite: la descarga del agua intersticial y superficial, evita el bloqueo de los filtros y aumenta la eficacia en la separación convencional sólido/líquido. La cavitación y las microcorrientes son factores importantes para la limpieza de filtros y la mejora de sus posibilidades

Lavado de tejidos

La limpieza de materiales rígidos sólidos es probablemente la aplicación más conocida de los ultrasonidos de alta intensidad. Este proceso puede atribuirse fundamentalmente a los efectos de cavitación. En realidad, la cavitación da lugar a muy altas presiones que producen erosión y, en consecuencia, eliminación de elementos contaminantes de la superficie.

La acción de la energía ultrasónica en tejidos es diferente. Debido a la flexibilidad de las fibras, los efectos de erosión y ruptura son más pequeños. Además, la estructura reticulada de los tejidos favorece la formación de capas de burbujas de aire que dificultan la penetración de las ondas ultrasónicas.

Recientemente, se ha desarrollado un sistema para lavado ultrasónico de tejidos [7, 8] con el que se consigue alcanzar altos grados de limpieza en unos minutos de tratamiento. Un análisis de los resultados experimentales ha mostrado que el mecanismo principal del lavado es la cavitación, especialmente la cavitación vaporosa (la eficiencia del proceso incrementa a medida que la concentración de gas disminuye). La cavitación vaporosa producida en la superficie y dentro de la estructura de los tejidos, rompe la capa de suciedad y facilita la acción de un detergente ligero. Otros mecanismos inducidos por los ultrasonidos y que juegan un papel complementario son: las microcorrientes, el desplazamiento de las burbujas y el efecto de las ondas acústicas en la capa límite.

Desespumación

Los ultrasonidos de alta-intensidad sirven para romper espumas. Se han desarrollado equipos para desespumación utilizando radiadores de placa escalonada focalizados que se han aplicado con éxito al control de exceso de espuma en la industria [9]. El

mecanismo de desespumación acústica consiste en la combinación de presiones acústicas de amplitud finita, presión de radiación, resonancia de las burbujas, corrientes acústicas y atomización de la capa superficial de las burbujas.

Conclusion

El interés actual por las aplicaciones de los ultrasonidos de potencia implica la necesidad de realizar estudios más profundos de los efectos no-lineales relacionados con los distintos

procesos. En este trabajo, se ha llevado a cabo un análisis cualitativo de estos efectos en una serie de procesos específicos actualmente en desarrollo. El estudio cuantitativo correspondiente es un objetivo importante para el inmediato futuro.

Bibliografía

1. J. A. Gallego Juárez, "Transducer needs for macrosonics", en "Power transducers for sonics and ultrasonics" Springer -Verlag, Berlin, 1990, pp. 35-47.
2. C. Campos Pozuelo and J. A. Gallego-Juárez, "Finite amplitude standing waves in metallic rods", J. Acoust. Soc. Am. 97 (1) January 1995, (in press).
3. C. Campos Pozuelo, J. A. Gallego-Juárez, "Finite amplitude flexural vibrations at ultrasonic frequencies in metallic bars", J. Acoust. Soc. Am. 1995, J. Acoust. Soc. Am., 98(3), September 1995 pp. 1742-1750
4. J. A. Gallego-Juárez, E. Riera F. de Sarabia, G. Rodríguez-Corral, L. Elvira-Segura, T. Hoffmann, F. Vazquez-Martinez, E. Andrés-Gallegos, J.C. Galvez-Moraleda, "Desarrollo de un sistema acústico para la separación de micropartículas en efluentes de centrales térmicas de carbón", Libro de Conferencias Invitadas y Comunicaciones, Jornadas Nacionales de Acústica, Tecnicústica, Valencia 1994, pp. 207-210.
5. H.S. Muralidhara, R.B. Beard and N. Senapati, "Mechanisms of ultrasonic agglomeration for dewatering colloid suspensions", Filtration and Separation, Nov.-Dic. 1987, pp. 409-413.
6. I. Gonzalez, L. Moreno de Barrera, R. Carbó, J. A. Gallego-Juárez, "Caracterización ultrasónica del fenómeno de precipitación de partículas en una suspensión acuosa", Libro de Conferencias invitadas y Comunicaciones, Jornadas Nacionales de Acústica, Tecnicústica, Valencia 1994, pp. 203-206
7. J. A. Gallego-Juárez, G. Rodríguez-Corral, S. Willemse, M. Warmoeskerken, "Sistema ultrasónico para lavado de textiles", Patente española 9401960, Sept. 1994.
8. P. Van der Vlist, S. Willemse, J.A. Gallego-Juárez, M. Warmoeskerken, G. Rodríguez-Corral, M. Kubacsi, L. Kamarad, "Cleaning Process", Patent europea EP9320- 1142.2 , Abril 93.
9. G. Rodríguez-Corral, J. A. Gallego-Juárez, A. Ramos Fernández, E. Andrés Gallegos, J.L. San Emeterio Prieto, F. Montoya Vitini, "High power ultrasonic equipment for industrial defoaming", Ultrasonic International 85, Conf. Proceedings, Butterworth, U.K., 1985, pp. 506-511.