

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 629 689**

51 Int. Cl.:

<b>B21C 37/04</b>	(2006.01)
<b>B06B 3/00</b>	(2006.01)
<b>H04R 17/00</b>	(2006.01)
<b>B22D 19/14</b>	(2006.01)
<b>B21C 1/00</b>	(2006.01)
<b>C22C 47/08</b>	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.03.2004 PCT/US2004/006253**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.11.0004 WO04095883**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.03.2004 E 04716164 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.04.2017 EP 1609334**

54 Título: **Sistema de energía ultrasónica y método que incluyen un cuerno cerámico**

30 Prioridad:

**31.03.2003 US 403643**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**14.08.2017**

73 Titular/es:

**3M INNOVATIVE PROPERTIES COMPANY  
(100.0%)  
3M CENTER, P.O. BOX 33427  
ST. PAUL, MN 55133-3427, US**

72 Inventor/es:

**NAYAR, SATINDER K.;  
GERDES, RONALD W.;  
CARPENTER, MICHAEL W. y  
AMIN, KAMAL E.**

74 Agente/Representante:

**DEL VALLE VALIENTE, Sonia**

ES 2 629 689 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Sistema de energía ultrasónica y método que incluyen un cuerno cerámico

5 **Antecedentes de la invención**

La presente invención se refiere a la acústica. Más particularmente, se refiere a un sistema ultrasónico y a un método que incorpora un cuerno cerámico para la emisión prolongada de energía ultrasónica en ambientes agresivos, tales como ambientes a elevada temperatura y/o corrosivos.

10 La acústica de las frecuencias ultrasonoras es la ciencia de los efectos de las vibraciones sonoras que superan el límite de las frecuencias audibles. El objetivo de las aplicaciones ultrasónicas de elevada potencia es aportar algún cambio físico al material en tratamiento. Este proceso requiere el flujo de energía vibratoria por unidad de área o volumen. Dependiendo de la aplicación, la densidad de potencia resultante puede variar de menos de un vatio a miles de vatios por centímetro cuadrado. A este respecto, la acústica de frecuencias ultrasonoras se usa en una amplia variedad de aplicaciones, tales como la soldadura o el corte de materiales.

15 Con independencia de la aplicación específica, el propio dispositivo o sistema ultrasónico consiste, en general, en un transductor, un amplificador, una guía de ondas y un cuerno. A estos componentes combinados se les suele denominar "sonotrodo". El transductor convierte la energía eléctrica emitida por una fuente de alimentación en vibraciones mecánicas de alta frecuencia. El amplificador amplifica o ajusta la emisión vibratoria que sale del transductor. La guía de ondas transfiere la vibración amplificada del amplificador al cuerno y proporciona una superficie apropiada para montar el cuerno. Particularmente, el componente de la guía de ondas suele emplearse, por motivos de diseño, para reducir la transferencia de calor al transductor y optimizar el funcionamiento del sonotrodo en términos de acústica y manipulación. Sin embargo, la guía de ondas no es un componente necesario y no siempre se utiliza. En su lugar, el cuerno se suele conectar directamente al amplificador.

20 El cuerno es una herramienta acústica que tiene normalmente una longitud de un múltiplo de la mitad de la longitud de onda del material del cuerno y está compuesto, normalmente, de aluminio, titanio o acero que transfiere la energía vibratoria mecánica al punto de aplicación deseado. El desplazamiento o la amplitud del cuerno es el movimiento de pico a pico de la cara del cuerno. La relación de la amplitud de salida del cuerno con respecto a la amplitud de entrada del cuerno se denomina "ganancia". La ganancia es una función de la relación de la masa del cuerno en las secciones de entrada y salida de las vibraciones. Por lo general, en los cuernos, la dirección de amplitud en la cara del cuerno coincide con la dirección de las vibraciones mecánicas aplicadas.

25 Dependiendo de la aplicación en particular, el cuerno puede adoptar varias formas, incluidas la cilíndrica simple, de bobina, campana, bloque, barra, etc. Además, la parte anterior (o "punta") del cuerno puede tener un tamaño y/o una forma distinta del resto del cuerpo del cuerno. En algunas configuraciones, la punta del cuerno puede ser un componente sustituible. Según se usa en esta memoria descriptiva, el término "cuerno" incluye tanto a los cuernos con una forma uniforme como a las estructuras de cuerno que definen una punta de cuerno identificable. Por último, para algunas aplicaciones tales como el corte y la soldadura ultrasónicos, se proporciona un componente de yunque adicional. Sin embargo, en cualquier caso, la configuración y la composición del material del cuerno ultrasónico son relativamente estándares.

30 Para la mayoría de las aplicaciones ultrasónicas, los materiales para el cuerno aceptados de aluminio, titanio y acero son muy viables, de los que el acero es el más viable, siendo el criterio principal de selección del material la frecuencia de trabajo deseada. El material al que se aplica la energía ultrasónica está a temperatura ambiente y es relativamente inerte, de manera que el desgaste del cuerno, de producirse, es mínimo. Sin embargo, con algunas aplicaciones ultrasónicas pueden surgir problemas de desgaste. En particular, cuando el cuerno trabaja en un entorno intenso (p. ej., corrosivo y/o a elevada temperatura), puede que los materiales aceptados para el cuerno no proporcionen resultados aceptables. Por ejemplo, la energía ultrasónica se emplea comúnmente para efectuar la infiltración de un medio fluido en una pieza de trabajo. La fabricación de cables de material compuesto con una matriz de metal reforzado con fibra es uno de estos ejemplos en los que se sumerge un haz de fibras en un metal fundido (p. ej., metal fundido basado en aluminio). Las ondas acústicas se introducen en el metal fundido (a través de un cuerno ultrasónico sumergido en él), haciendo que el metal fundido se infiltre en el haz de fibras, lo que produce el cable compuesto con matriz de metal. El aluminio fundido representa un entorno extremadamente agresivo ya que está extremadamente caliente (en el orden de 700 °C) y es químicamente corrosivo. En estas condiciones rigurosas, los cuernos de titanio y acero se deteriorarán rápidamente. Otras construcciones de cuernos de metal disponibles proporcionan solo mejoras nominales en la vida útil del cuerno. Por ejemplo, los fabricantes de cables de material compuesto con matriz de metal suelen emplear una serie de aleaciones de niobio y molibdeno (p. ej., al menos molibdeno al 4,5%) para el cuerno. Incluso con esta selección más rigurosa del material, los cuernos de niobio proporcionan una vida útil limitada en aluminio fundido antes de que se requiera volver a mecanizarlo. Además, cerca del final de su "primera" vida, los cuernos de aleación de niobio se vuelven inestables, con la posibilidad de crear problemas de procesado inesperados. Además, la formación de cuernos de aleaciones de niobio y molibdeno entraña operaciones de fundición, trabajo en caliente y mecanizado final precisas, que requieren mucho tiempo y son caras. Debido al elevado coste de estos y otros materiales, el niobio (y sus aleaciones) y otros materiales aceptados para el cuerno no llegan a ser óptimos para aplicaciones ultrasónicas en un ambiente agresivo.

US-4 649 060 se dirige a un método para producir un cable, una hoja o una cinta preformados para reforzar un material compuesto de metal con fibras. El método comprende soltar y sacar un haz de fibras de carburo de silicio de tal manera que las fibras elementales que constituyen el haz de fibra estén dispuestas uniformemente en una relación paralela a lo largo de su dirección longitudinal, e impregnar el haz de fibras durante un periodo de tiempo de no más de 50 segundos con un metal fundido mientras se somete al haz de fibras a una vibración ultrasónica (véase la reivindicación 1). El metal fundido se hace vibrar por medio de un aparato de vibración de ondas ultrasónicas que comprende un oscilador y un vibrador. Se sumerge la parte inferior de un cuerno del vibrador en el metal fundido que llena un recipiente (véase la columna 4, líneas 18-23).

Los dispositivos ultrasónicos se usan de forma ventajosa en varias aplicaciones. Sin embargo, para algunas aplicaciones, el ambiente intenso en el que trabaja el cuerno ultrasónico hace los materiales de los cuernos actuales económicamente ineficaces. Por consiguiente, existe la demanda de un sistema de energía ultrasónica, y en particular de un cuerno ultrasónico, adaptados para proporcionar un funcionamiento prolongado en condiciones de trabajo extremas.

### Sumario de la invención

Un aspecto de la presente invención se refiere a un sistema acústico según la reivindicación 1. El sistema ultrasónico de la presente invención facilita el trabajo prolongado en ambientes extremos tales como temperatura elevada y/o medios fluidos corrosivos. Por ejemplo, se ha descubierto, sorprendentemente, que los cuernos de cerámica, tales como SiN<sub>4</sub>, sialon (SiAlON), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC, TiB<sub>2</sub>, etc., prácticamente carecen de reactividad química cuando se aplica energía vibratoria a medios muy corrosivos y fundidos, sobre todo aluminio fundido.

Otro aspecto de la presente invención se refiere a un método según la reivindicación 7. En una realización, el medio fluido es corrosivo y tiene una temperatura de, al menos, 500 °C, y el método está caracterizado por que el cuerno no se sustituye durante al menos 100 horas de emisión de energía ultrasónica.

Otro aspecto más de la presente invención se refiere a un método según la reivindicación 11.

### Breve descripción de los dibujos

La Fig. 1 es una vista despiezada de un sistema de energía ultrasónica según la presente invención, con partes que se muestran en forma de bloque;

la Fig. 2A es una vista en sección transversal ampliada de una parte del sistema ultrasónico de la Fig. 1;

la Fig. 2B es una vista en sección transversal de una parte de la Fig. 2A a lo largo de las líneas 2B - 2B;

la Fig. 3 es una vista en perspectiva del sonotrodo ultrasónico de la Fig. 1 tras el montaje final;

la Fig. 4 es una ilustración ampliada y esquemática de una parte del sistema ultrasónico de la Fig. 1 durante el uso; y

la Fig. 5 es una ilustración esquemática de un aparato para producir cables de material compuesto con matriz de metal usando energía ultrasónica según la presente invención.

### Descripción detallada de las realizaciones preferidas

En la Fig. 1 se proporciona una realización de un sistema ultrasónico 10 según la presente invención. En términos generales, el sistema ultrasónico 10 incluye una fuente 12 de energía (mostrada en forma de bloque), un cuerno ultrasónico o sonotrodo 14 y un sistema 16 de refrigeración. Los detalles de los distintos componentes se describen más adelante. En términos generales, sin embargo, el sonotrodo 14 incluye un transductor 20, un amplificador 22, una guía 24 de ondas y un cuerno 26. Al menos una parte del cuerno 26 está compuesta de material cerámico y está adaptada para emitir energía vibratoria mecánica generada por el transductor 20, el amplificador 22 y la guía 24 de ondas a través de la entrada desde la fuente 12 de energía. El sistema 16 de refrigeración, como se describe más adelante, enfría la superficie intermedia entre el cuerno 26 y la guía 24 de ondas. Con esta configuración, el sistema ultrasónico 10, y en particular el cuerno 26, pueden proporcionar energía ultrasónica en ambientes de trabajo extremos (p. ej., a elevada temperatura y/o químicamente corrosivos) durante un periodo de tiempo prolongado.

Varios componentes del sistema ultrasónico 10 son de los tipos conocidos en la técnica. Por ejemplo, la fuente 12 de energía, el transductor 20 y el amplificador 22 son componentes, por lo general, convencionales y pueden adoptar una variedad de formas. Por ejemplo, en una realización, la fuente 12 de energía se configura para proporcionar energía eléctrica de alta frecuencia al transductor 20. El transductor 20 convierte la electricidad de la fuente 12 de energía en vibración mecánica, con un valor nominal de 20 kHz. El transductor 20 según la presente invención puede ser, por lo tanto, de cualquier tipo disponible, tal como piezoeléctrico, electromecánico, etc. Por último, el amplificador 22 también es de un tipo conocido en la técnica, adaptado para amplificar la salida

vibratoria del transductor 20 y transferirla a la guía 24 de ondas /al cuerno 26. A este respecto, aunque el sistema 10 puede incluir la guía 24 de ondas entre el amplificador 22 y el cuerno 26, en una realización alternativa, el cuerno 26 se conecta directamente al amplificador 22, de tal manera que la guía 24 de ondas se elimina.

5 A diferencia de los componentes descritos arriba, el cuerno 26, y cuando se proporcione, la guía 24 de ondas, representan mejoras evidentes sobre los sistemas ultrasónicos conocidos. En particular, una parte sustancial del cuerno 26, y en una realización, todo el cuerno 26, está formado de un material cerámico. A modo de referencia, el cuerno 26 está definido por un extremo posterior 30 y un extremo anterior 32. El extremo posterior 30 se une a la guía 24 de ondas, mientras que el extremo anterior 32 representa el extremo de trabajo del cuerno 26. Así, por ejemplo, cuando el sistema ultrasónico 10 se emplea para emitir energía ultrasónica a un medio fluido, el extremo anterior 32 (junto con partes del cuerno 26 adyacentes al extremo anterior 32), se sumerge en el medio fluido. Teniendo en cuenta estas atribuciones, el cuerno 26 está definido por una longitud desde el extremo posterior 30 hasta el extremo anterior 32 y define una longitud de onda del material del cuerno. La parte de cerámica del cuerno 26 tiene una longitud que es al menos 1/8 de esta longitud de onda, que se extiende en sentido proximal desde el extremo anterior 32 hacia el extremo posterior 30. En otras palabras, el cuerno 26 define una sección 34 anterior de cerámica que tiene una longitud de al menos 1/8 de la longitud de onda del material del cuerno. De forma alternativa, la sección 34 anterior de cerámica puede tener una longitud que sea superior a 1/8 de la longitud de onda del material del cuerno, por ejemplo, al menos 1/4 de la longitud de onda o 1/2 de la longitud de onda. En una realización más preferida, todo el cuerno 26 está formado de un material cerámico. No obstante lo anterior, la parte de cerámica del cuerno no es un simple revestimiento o pequeña pieza principal; en lugar de ello, la presente invención utiliza cerámica a lo largo de una parte significativa del cuerno 26.

Se puede admitir una variedad de materiales cerámicos para el cuerno 26 (o su sección anterior 34 como se ha descrito anteriormente), e incluye al menos uno de los materiales de carburo, nitruro y/u óxido. Por ejemplo, la parte de cerámica del cuerno 26 puede ser nitruro de silicio, óxido de aluminio, diboruro de titanio, circonio, carburo de silicio, etc. En una realización más preferida, la parte de cerámica del cuerno 26 es un material compuesto de alúmina, nitruro de silicio y cerámica, tal como sialon ( $\text{Si}_{6-x}\text{Al}_x\text{O}_x\text{N}_{8-x}$ ).

Aunque en la Fig. 1 se representa el cuerno 26 como una barra cilíndrica, se pueden utilizar otras formas. Por ejemplo, el cuerno 26 puede ser una barra con forma rectangular o cuadrada (en sección transversal), esférico, cónico, de doble cono, etc. La forma seleccionada del cuerno 26 está en función de la aplicación final prevista.

Dependiendo de cómo se proporcione el cuerno 26, la guía 24 de ondas puede adoptar una variedad de formas, al igual que el acoplamiento entre ambos. Por ejemplo, cuando una sección posterior 36 del cuerno 26 es de algo distinto de la cerámica (p. ej., titanio, niobio u otro material convencional para el cuerno), la guía 24 de ondas también puede ser de una configuración conocida, al igual que la técnica mediante la cual el cuerno 26 se fija a la guía 24 de ondas. Por ejemplo, cuando la sección posterior 36 del cuerno 26 está compuesta de un material para el cuerno estándar, tal como niobio y sus aleaciones, la guía 24 de ondas puede formarse de un material de titanio y/o acero y montarse el cuerno 26 en esta con un fijador de rosca. Más adelante se describen técnicas de montaje alternativas que no se han empleado anteriormente en la técnica de los cuernos ultrasónicos.

Se puede emplear una técnica de montaje por ajuste mecánico para acoplar el cuerno 26 y la guía 24 de ondas (o el amplificador 22 cuando no se incluye la guía 24 de ondas). Por ejemplo, y con referencia a las Figs. 2A y 2B, la guía 24 de ondas y el cuerno 26 se adaptan para facilitar un ajuste con apriete entre ellos. Más particularmente, la guía 24 de ondas forma un orificio interno 38 que tiene una(s) dimensión(es) que corresponde(n) con una(s) dimensión(es) externas del cuerno 26. Así, por ejemplo, cuando se proporciona el cuerno 26 como una barra cilíndrica, el orificio 38 y el extremo posterior 30 definen diámetros seleccionados para generar un ajuste con apriete apropiado entre ellos. A este respecto, y como se ha descrito anteriormente, el sistema ultrasónico 10 está preferiblemente adaptado para usarlo en ambientes a temperaturas elevadas (es decir, al menos 200 °C; al menos 350 °C en otra realización; al menos 500 °C en otra realización), tal como metal fundido. En estas condiciones, el ajuste con apriete o de conexión debe ser tal que el cuerno cerámico 26 no se suelte con respecto a la guía 24 de ondas a la temperatura elevada que probablemente se encuentre. La guía 24 de ondas se forma, en una realización, de un material distinto de la cerámica para facilitar mejor la conexión entre el amplificador 22 y el cuerno 26; reconociéndose que al usar distintos materiales para la guía 24 de ondas y el cuerno 26, estos componentes se dilatarán a diferentes velocidades cuando se sometan a temperaturas muy elevadas. Junto con esta dilatación del material, el cuerno 26 impartirá esfuerzos tangenciales a la guía 24 de ondas cuando el cuerno 26 se dilate. Teniendo esto en cuenta, y en una realización, la guía 24 de ondas se forma de un material de titanio, a diferencia de otros materiales empleados para estas aplicaciones a elevadas temperaturas (tal como el niobio) porque los esfuerzos tangenciales causados por el ajuste con apriete son mucho menores que el límite aparente de fluencia del titanio. Es decir, el niobio (y sus aleaciones) no es capaz de soportar los esfuerzos tangenciales esperados a elevadas temperaturas (p. ej., en el orden de al menos 500 °C). Por ejemplo, cuando el sistema ultrasónico 10 se usa para aplicar energía ultrasónica a un medio de metal fundido, la guía 24 de ondas es, preferiblemente, de titanio, y el orificio 40 se selecciona de modo que se proporcione un ajuste con apriete de 0,008 cm (0,003 pulgada) a temperatura ambiente.

La técnica de tipo sujeción por ajuste con apriete para montar el cuerno 26 a la guía 24 de ondas tan solo es un procedimiento aceptable. Se pueden emplear otras técnicas de sujeción, tales como formar la guía 24 de ondas de manera que incluya una configuración de abrazadera de dos piezas, etc. Independientemente, el punto de conexión

entre la guía 24 de ondas y el cuerno 26 se encuentra, preferiblemente, en el antinodo de la guía 24 de ondas, aunque se pueden admitir otros puntos de conexión (p. ej., un nodo vibratorio de la guía 24 de ondas). En cualquier caso, la técnica de montaje con apriete del cuerno 26 a la guía 24 de ondas facilita el reglaje total del sonotrodo 14 mediante el mecanizado o ajuste de la guía 24 de ondas. Esto se diferencia de las técnicas admitidas por las que el cuerno 26 se mecaniza con precisión como un cuerno de media longitud de onda. Debido a las posibles complicaciones asociadas al mecanizado de cerámicas, la presente invención facilita el mecanizado de la guía 24 de ondas como parte del proceso de reglaje. Como tal, el cuerno 26 puede tener una longitud que sea distinta de media longitud de onda. Para ello, se reconoce que, de forma típica, se necesita el requisito de media longitud de onda para las longitudes de la guía 24 de ondas y del cuerno 26 para mantener los nodos a una distancia intermedia de la guía 24 de ondas/el cuerno 26, y antinodos en la(s) superficie(s) intermedia(s) entre la guía 24 de ondas y el cuerno 26 para una resonancia óptima (p. ej., 20 kHz) con un consumo mínimo de energía de todo el sonotrodo 14.

Volviendo a la Fig. 1, el sistema ultrasónico 10 incluye, en una realización, el sistema 16 de refrigeración para refrigerar la conexión descrita anteriormente entre el cuerno 26 y la guía 24 de ondas, así como otros componentes del sonotrodo 14. En términos generales, una realización del sistema 16 de refrigeración incluye una estructura 40 de soporte, una fuente 42 de aire y uno o varios conductos 44. Haciendo también referencia a la Fig. 3, la estructura 40 de soporte tiene un tamaño para colocarla alrededor del sonotrodo 14, con su extremo distal 46 colocado adyacente a la conexión de la guía 24 de ondas y el cuerno 26. El conducto 44 une por conexión de fluidos la fuente 42 de aire con un interior de la estructura 40 de soporte, dirigiendo con ello un flujo de aire forzado desde la fuente 42 de aire dentro de la estructura 40 de soporte. En una realización, el sistema 10 incluye además una plataforma 48 para montar el sonotrodo 14.

Como se muestra mejor en la Fig. 4, por ejemplo, durante el uso, una parte del cuerno 26 (y en particular al menos una parte de la sección 34 anterior de cerámica) se sumerge en un medio fluido 50. Para algunas aplicaciones, el medio fluido 50 puede estar extremadamente caliente, tal como aluminio fundido que tiene una temperatura de aproximadamente 710 °C. En estas circunstancias, el calor del medio fluido 50 puede afectar negativamente la estabilidad del montaje entre la guía 24 de ondas y el cuerno 26. Sin embargo, según una realización, el sistema 16 de refrigeración minimiza las posibles complicaciones. En particular, la estructura 40 de soporte rodea la conexión entre la guía 24 de ondas y el cuerno 26 y define una distancia 52 entre la estructura 40 de soporte y la guía 24 de ondas/el cuerno 26. El aire de la fuente 42 de aire (Fig. 1) es forzado hacia esta distancia 52 a través del conducto 44 (Fig. 1) y pasa hacia el exterior desde la estructura 40 de soporte. Así, el flujo de aire forzado elimina el calor de la conexión entre la guía 24 de ondas y el cuerno 26 y enfría la guía 24 de ondas, el amplificador 22 (Fig. 1) y el transductor 20 (Fig. 2). De forma alternativa, se pueden emplear otros diseños del sistema de refrigeración. Además, cuando el calor del medio fluido 50 es menos preocupante y/o el montaje de la unidad de guía 24 de ondas y cuerno 26 es estable a las temperaturas esperadas, el sistema 16 de refrigeración se puede eliminar por completo.

El sistema ultrasónico 10 de la presente invención es muy útil para una variedad de aplicaciones ultrasónicas, sobre todo aquellas que implican ambientes extremos, tales como ambientes corrosivos, medios fluidos a elevada temperatura o combinaciones de los mismos. En particular, al formar una parte importante del cuerno 26, preferiblemente todo el cuerno 26, de un material cerámico, el cuerno 26 no se erosionará rápidamente con la exposición al ambiente extremo. En particular, los materiales cerámicos seleccionados, tales como sialon, nitruro de silicio, diboruro de titanio, carburo de silicio, óxido de aluminio, etc., son muy estables a elevadas temperaturas y, en general, no se corroerán cuando se expongan a fluidos ácidos tales como aluminio fundido. Además, con respecto a las aplicaciones a elevadas temperaturas, el cuerno 26 cerámico preferido presenta características de transferencia de calor reducidas (en comparación con los materiales para cuernos conocidos para aplicaciones a elevadas temperaturas, tales como niobio y aleaciones de niobio y molibdeno) del medio a elevada temperatura al resto del sonotrodo. Así, para aplicaciones para metales fundidos cuyas temperaturas exceden los 700 °C, el cuerno 26 cerámico preferido minimiza la transferencia de calor al transductor 20, reduciendo así enormemente la posibilidad de dañar el cristal del transductor. Cuando el cuerno 26 es completamente cerámico, el cuerno 26 presenta, prácticamente, características constantes de rigidez y densidad a temperaturas ambiente y elevada (p. ej., en el intervalo de 700 °C).

Teniendo esto en cuenta, una aplicación ilustrativa del sistema ultrasónico 10 según la presente invención es en la fabricación de cables de material compuesto con matriz de aluminio reforzado con fibra. La Fig. 5 ilustra, esquemáticamente, un ejemplo de un sistema de fabricación de cables de material compuesto con matriz de metal que emplea el sistema ultrasónico 10 según la presente invención. El método de fabricación reflejado en la Fig. 5 se denomina "fundición con infiltración" y empieza con un haz de fibras 60 de  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  policristalino transportado a través de una matriz 62 de extrusión de entrada y desemboca en una cámara 64 de vacío donde el haz 60 es evacuado. El haz 60 se transporta después a través de un aparato 65 de enfriamiento y luego a un recipiente 66 que contiene una matriz 68 de metal en forma fundida. En términos generales, la matriz 68 de metal fundido puede ser de aluminio que tenga una temperatura de al menos 600 °C, de forma típica aproximadamente 700 °C. Mientras está sumergido en la matriz 68 de metal fundido, el haz 60 es sometido a energía ultrasónica proporcionada por el sistema ultrasónico 10, y en particular el cuerno 26 que está, salvo que se indique lo contrario, sumergido en la matriz 68 de metal fundido. Una vez más, todo el cuerno 26 es, preferiblemente, cerámico. De forma alternativa, cuando solo la sección anterior 34 (Fig. 1) es cerámica, la parte sumergida del cuerno 26 consiste solo en la sección anterior 34 de cerámica (o una parte de esta). No obstante lo anterior, el cuerno 26 hace vibrar la matriz 68 de metal fundido, preferiblemente a 20 kHz. Al hacerlo así, se hace que el material de la matriz infiltre completamente el haz 60 de fibras. El haz 60 de fibras infiltrado es sacado de la matriz 68 de metal fundido. Se conoce un número de otras técnicas de

fabricación de cables de material compuesto con matriz de metal en las que el sistema 10 de la presente invención es útil, una de las cuales se describe, por ejemplo, en la patente US-6.245.425. Con independencia de la técnica de fabricación exacta y a diferencia de los sistemas ultrasónicos existentes que incorporan un cuerno de niobio, el sistema ultrasónico 10 de la presente invención proporciona un periodo de tiempo de trabajo prolongado sin necesitar la sustitución del cuerno 26. Es decir, los cuernos de niobio (y aleaciones de niobio) usados en aplicaciones de infiltración de metal fundido fallan, de forma típica, debido a la erosión en menos de 50 horas de trabajo. Por el contrario, el sistema ultrasónico 10, y en particular el cuerno 26 según la presente invención, presenta, sorprendentemente, una vida útil que supera con creces las 100 horas de trabajo en metal fundido; incluso supera las 200 horas de trabajo en metal fundido.

Aunque se ha descrito el uso del sistema ultrasónico 10 preferiblemente con la fabricación de cables de material compuesto con matriz de aluminio reforzados con fibras, se reconocerán las ventajas con otras aplicaciones acústicas o ultrasónicas. Por lo tanto, la presente invención no se limita en modo alguno a ninguna aplicación acústica o ultrasónica particular.

**Ejemplos**

Los objetos y ventajas de la presente memoria se ilustran con mayor detalle mediante los siguientes ejemplos, donde los materiales y cantidades particulares de los mismos citados en dichos ejemplos, así como otras condiciones y detalles, no deberán tomarse como una limitación indebida de la presente invención.

Ejemplo 1

Se preparó un sonotrodo ultrasónico formando un cuerno de sialon en forma de barra cilíndrica que tenía una longitud de aproximadamente 29,85 cm (11,75 pulgadas) y un diámetro de 2,54 cm (1 pulgada). Se montó el cuerno por ajuste con apriete a una guía de ondas de titanio. La guía de ondas se montó a un amplificador que a su vez se montó en un transductor. Se conectó una fuente de energía apropiada eléctricamente al transductor. El sistema ultrasónico construido de esta manera se puso en funcionamiento para aplicar energía ultrasónica a un baño de aluminio fundido. Concretamente, se calentó el metal de aluminio a una temperatura en el intervalo de aproximadamente 705 °C – 715 °C para formar el baño de aluminio fundido. El cuerno cerámico se sumergió parcialmente en el baño de aluminio fundido y se puso en funcionamiento el sonotrodo de manera que el cuerno transmitiera aproximadamente 65 vatios a aproximadamente 20 kHz y se enfrió con aire. A intervalos de aproximadamente 50 horas, el cuerno se retiró del baño de aluminio fundido, se atacó con ácido y se comprobó visualmente si había erosión. Además, se revisó la estabilidad de la conexión entre la guía de ondas y el cuerno. Las lecturas de potencia y frecuencia junto con la erosión y las características de estabilidad de la conexión están anotadas en la Tabla 1 que aparece más abajo. Después de 200 horas de trabajo, la conexión entre la guía de ondas y el cuerno permaneció muy estable y se identificó una erosión o fatiga del cuerno muy limitada. Así, el cuerno cerámico fue capaz de soportar la emisión de energía ultrasónica en un ambiente corrosivo a elevada temperatura durante un periodo de tiempo prolongado. Particularmente, se cree que la estabilidad del cuerno y de la conexión entre la guía de ondas y el cuerno se habría mantenido durante muchas más horas después de la prueba de 200 horas. De forma adicional, se tomaron medidas para determinar si se producía una erosión del cuerno cerámico al transferir el material del cuerno, y en particular silicio, al baño fundido. Con respecto al Ejemplo 1, el contenido de silicio del baño de aluminio fundido se midió a 153 ppm antes de aplicar energía ultrasónica. Después de 150 horas, se volvió a probar el contenido de silicio del baño y se descubrió que este era de 135 ppm. Por lo tanto, el cuerno ultrasónico cerámico no afectó de forma adversa el contenido de silicio del baño.

Tabla 1

Horas	Potencia (vatios)	Frecuencia (kHz)	Erosión del cuerno	Estabilidad de la conexión
54	64	19,670	Ninguno	Muy estable
100	64	19,636	Ninguno	Muy estable
150	68	19,636	Ligero	Muy estable
200	69	19,670	Ligero	Muy estable

Ejemplo 2

Preparación de cables de material compuesto con matriz de metal.

Se prepararon cables de material compuesto con matriz de metal usando haces de fibras cerámicas de alúmina NEXTEL™ 610 (comercializadas por 3M Company, St. Paul, MN, EE. UU.) sumergidas en un baño de aluminio fundido y se sometieron a energía ultrasónica para efectuar la infiltración del haz. En particular, se empleó un sistema ultrasónico que incluía un cuerno de sialon, similar al cuerno descrito en el Ejemplo 1, como parte de una metodología de fundición con infiltración, mostrada esquemáticamente en la Fig. 5. Los parámetros del proceso fueron muy similares a los empleados para fabricar materiales compuestos con matriz de aluminio (AMC) y descritos con todo detalle en el Ejemplo 1 de la patente US-6.344.270, incorporada como referencia en la presente memoria. El cuerno de sialon de la presente invención sustituyó el cuerno de aleación de niobio descrito en la patente US-6.344.270. Con este ejemplo, el

## ES 2 629 689 T3

5 cuerno de sialon transmitió aproximadamente 65 vatios a una frecuencia de aproximadamente 20 kHz. Se produjo aproximadamente 1,98 km (6.500 pies) de cable en el transcurso de treinta ciclos experimentales, y se probó su resistencia a la tracción usando una máquina para pruebas de tracción (comercializado como máquina para pruebas Instron 4201 de Instron de Canton, Massachusetts, EE. UU.), según la norma D 3379-75 de la ASTM (Métodos de ensayo estándares de la resistencia a la tracción y el módulo de Young para materiales monofilamento de módulo elevado). La resistencia a la tracción de los cables producidos según el Ejemplo 2 fue prácticamente idéntica que la asociada a los cables de material compuesto con matriz de metal fabricados usando un cuerno ultrasónico de aleación de niobio, presentando una resistencia longitudinal en el intervalo de aproximadamente 1,51 GPa.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema acústico (10) para aplicar energía vibratoria, comprendiendo el sistema:
  - 5 una fuente (12) de energía ultrasónica, un transductor (20), un amplificador (22), un cuerno (26) conectado a la fuente (12) de energía ultrasónica y una guía (24) de ondas, teniendo el cuerno una longitud definida por un extremo posterior (36) y un extremo anterior (32) y teniendo una longitud de onda de cuerno, caracterizado por que todo el cuerno está compuesto de un material cerámico y la guía (24) de ondas se monta en el extremo posterior del cuerno a través de un ajuste con apriete.
- 10 2. El sistema de la reivindicación 1, en donde el material cerámico incluye al menos una cerámica seleccionada de nitruro de silicio, óxido de aluminio, sialon, diboruro de titanio, circonia o carburo de silicio.
- 15 3. El sistema de la reivindicación 1, en donde el cuerno está adaptado para transmitir energía ultrasónica a una frecuencia de aproximadamente 20 kHz a un medio de metal fundido y está caracterizado por una vida útil de al menos 100 horas.
- 20 4. El sistema de la reivindicación 1, en donde el cuerno es una barra cilíndrica de cerámica y la guía de ondas tiene un orificio circular, y en donde además el extremo posterior del cuerno es recibido dentro del orificio circular.
5. El sistema de la reivindicación 4, en donde la guía de ondas y el cuerno están adaptados para mantener un ajuste con apriete a una temperatura de al menos 200 °C.
- 25 6. El sistema de la reivindicación 1, que además comprende:
  - una estructura (40) de soporte tubular que rodea una conexión entre la guía de ondas y el cuerno; y una fuente (42) de aire conectada en conexión de fluidos a la estructura de soporte para suministrar aire a través de la estructura de soporte para refrigerar la conexión.
- 30 7. Un método para aplicar energía ultrasónica en un medio fluido, comprendiendo el método:
  - (a) proporcionar un medio fluido (50);
  - (b) proporcionar un sistema acústico (10) según la reivindicación 1;
  - (c) sumergir al menos una parte anterior del cuerno en el medio fluido; y
  - 35 (d) hacer funcionar la fuente de energía ultrasónica de tal manera que el cuerno emita energía ultrasónica al medio fluido.
8. El método de la reivindicación 7, en donde el medio fluido tiene una temperatura de al menos 200 °C.
- 40 9. El método de la reivindicación 7, en donde el medio fluido es un metal fundido.
10. El método de la reivindicación 7, en donde el medio fluido es aluminio fundido y en donde, además, el método está caracterizado por no sustituir el cuerno durante al menos 100 horas de emisión de energía ultrasónica.
- 45 11. Un método para fabricar un cable de material compuesto continuo, comprendiendo el método:
  - (a) proporcionar un volumen contenido de material de matriz de metal fundido que tiene una temperatura de al menos 600 °C;
  - 50 (b) sumergir, al menos, un haz que comprende una pluralidad de fibras sustancialmente continuas en el volumen contenido de material de matriz de metal fundido;
  - (c) proporcionar un sistema acústico (10) según la reivindicación 1, impartiendo el sistema acústico energía ultrasónica para generar la vibración de al menos una parte del volumen contenido de material de matriz de metal fundido para permitir que al menos una parte del material de matriz de metal fundido se infiltre en la pluralidad de fibras de tal manera que se proporcione una pluralidad
  - 55 de fibras infiltradas; y
  - (d) retirar la pluralidad de fibras infiltradas del volumen contenido del material de matriz de metal fundido.
- 60 12. El método de la reivindicación 11, en donde se fabrican cables de material compuesto continuos durante al menos 100 horas sin sustituir el cuerno.

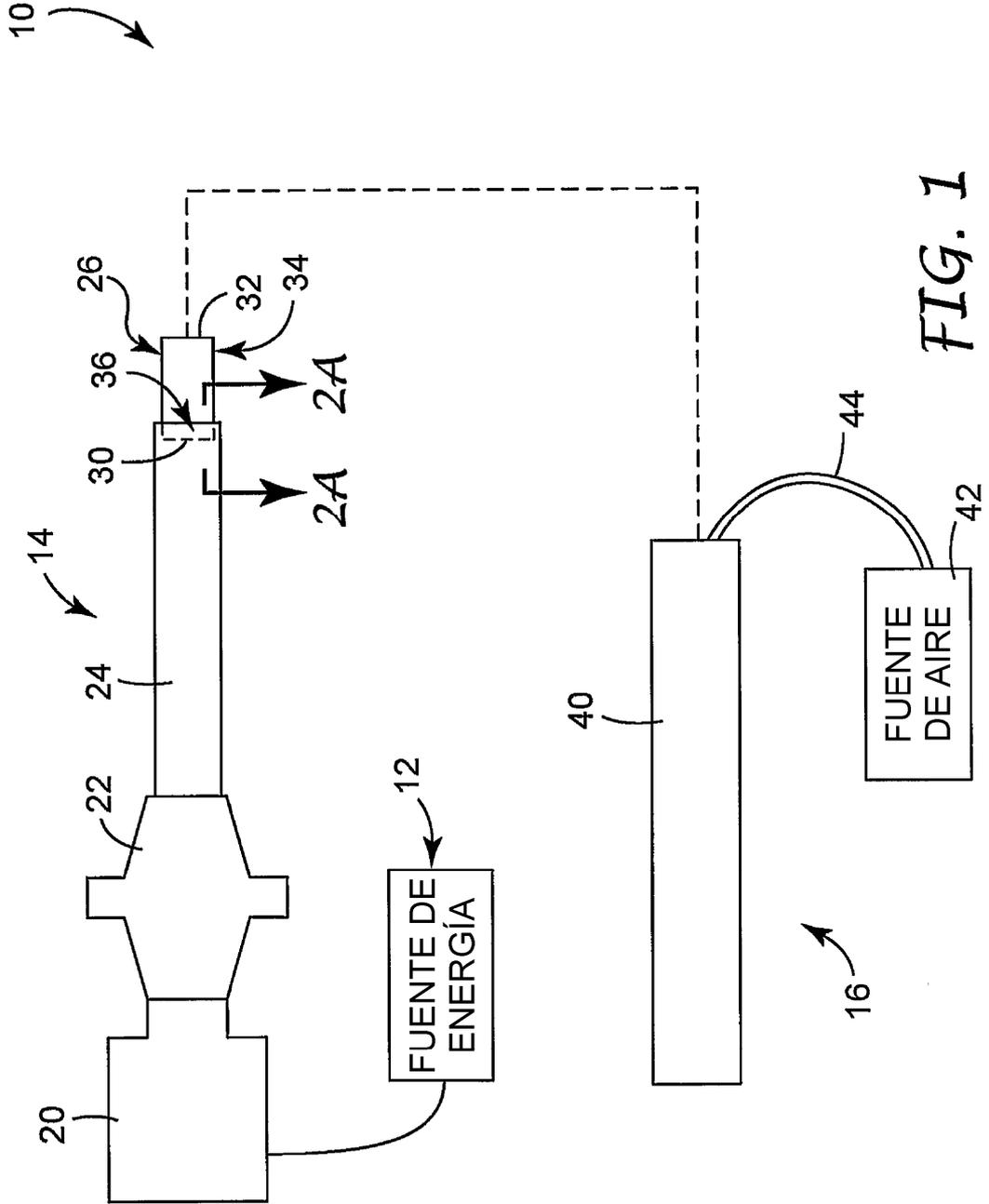


FIG. 1

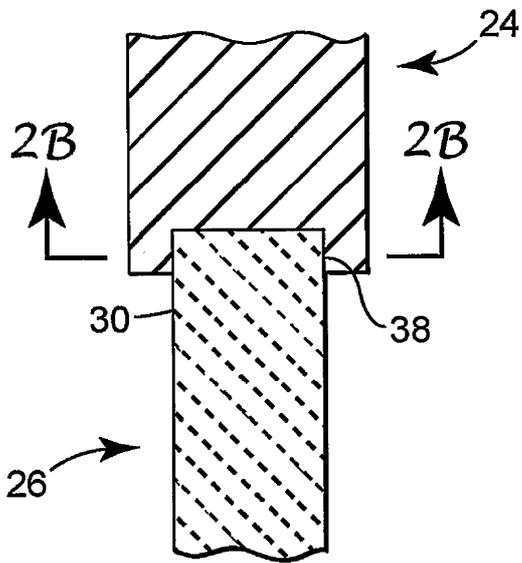


FIG. 2A

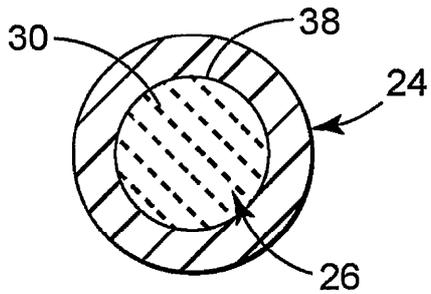


FIG. 2B

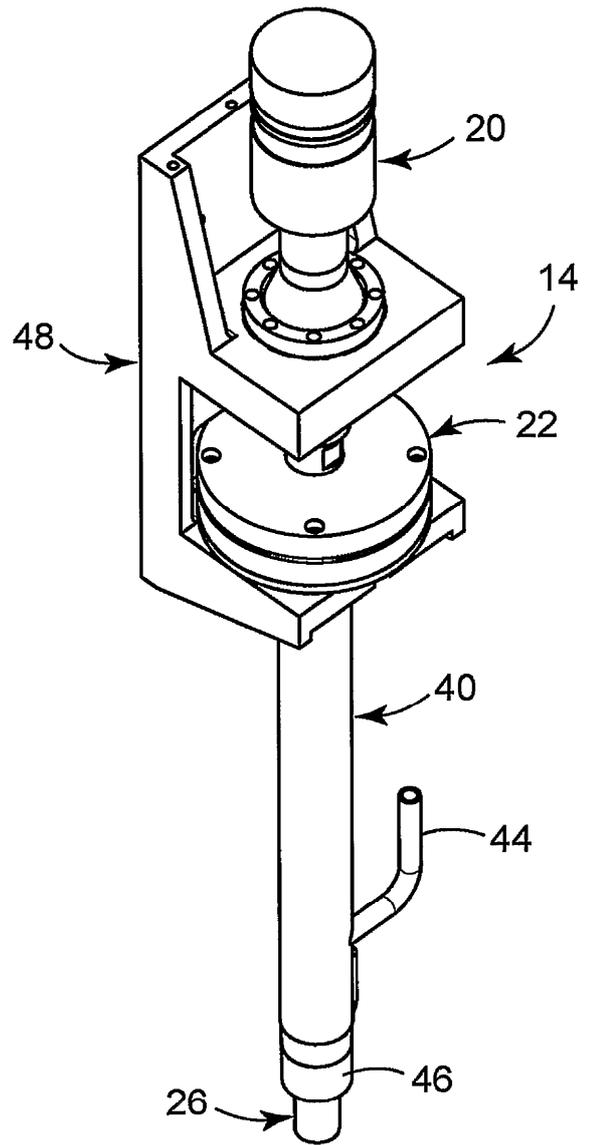


FIG. 3

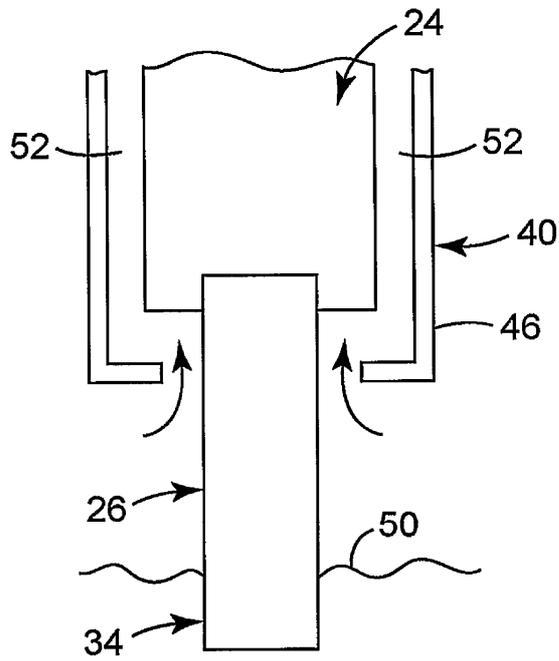


FIG. 4

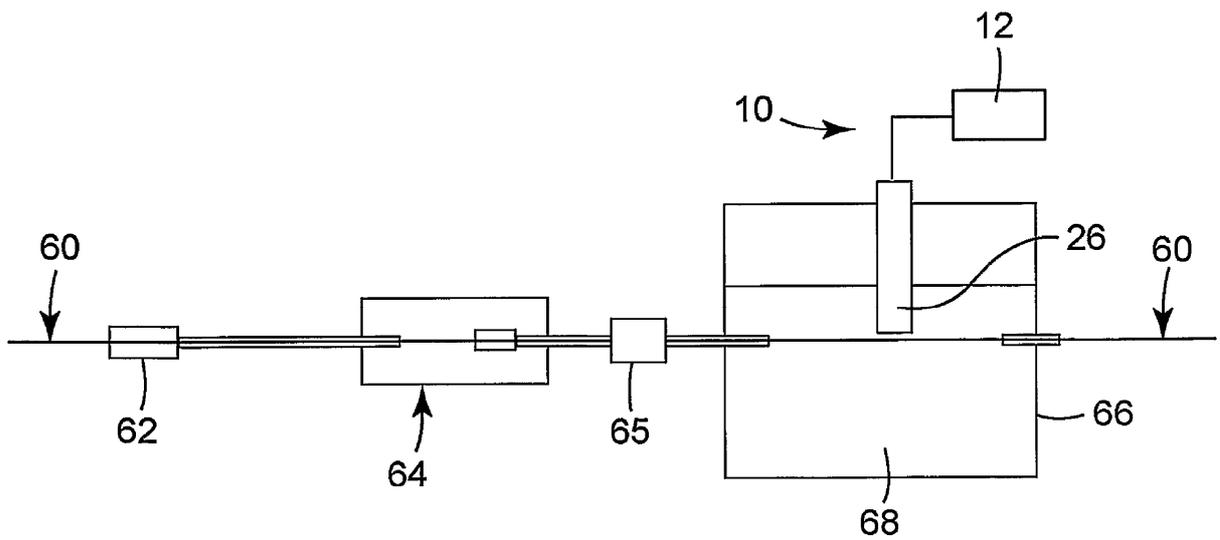


FIG. 5