

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 968 617**

51 Int. Cl.:

**C21C 5/46** (2006.01)  
**F27D 21/00** (2006.01)  
**F27D 19/00** (2006.01)  
**F27B 3/28** (2006.01)  
**B06B 3/00** (2006.01)  
**C21C 5/52** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.08.2021 PCT/IB2021/057402**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.02.2022 WO22034517**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.08.2021 E 21783042 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.10.2023 EP 4192985**

54 Título: **Sistema de ultrasonidos para el procesamiento de metales y sus aleaciones y procedimiento para el procesamiento de metales líquidos y sus aleaciones**

30 Prioridad:

**12.08.2020 PL 43486620**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**13.05.2024**

73 Titular/es:

**AMAZEMET SPOLKA Z ORGANICZONA  
ODPOWIEDZIALNOSCIA (100.0%)  
Aleja Jana Pawla II 27  
00-867 Warszawa, PL**

72 Inventor/es:

**ZRODOWSKI, LUKASZ**

74 Agente/Representante:

**CONTRERAS PÉREZ, Yahel**

ES 2 968 617 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 ultrasonidos para el procesamiento de metales y sus aleaciones y procedimiento para el procesamiento de metales líquidos y sus aleaciones

La invención tiene por objeto un sistema de ultrasonidos para el procesamiento de metales líquidos y sus aleaciones, en particular, en un sistema en el que se atomizan someténdolos a la acción de una guía de ondas que vibra la cual cumple la función de sonotrodo. La invención tiene también por objeto un procedimiento para el procesamiento de metales líquidos y sus aleaciones.

En el estado de la técnica, para el procesamiento de metales líquidos se utilizan vibraciones con frecuencia de ultrasonidos. Aplicaciones típicas incluyen atomización de polvos, desgasificación y aleación de metales y sus aleaciones. Típicamente, el sistema de ultrasonidos es excitado por un transductor piezoeléctrico o magnetostrictivo. Debido al hecho de que la temperatura de funcionamiento superior de esos transductores es mucho más baja que el punto de fusión de la mayoría de los metales, el sistema de ultrasonidos requiere aplicar un enfriamiento de alta eficiencia o alejar el transductor de una fuente de calor.

Para que el procesamiento de metal líquido por ultrasonidos se produzca de manera estable, es necesario mantener una temperatura de la superficie del sonotrodo por encima de la temperatura de fusión de la aleación; de lo contrario, la cristalización de la aleación progresa en su superficie. Debido a la limitada temperatura de funcionamiento del transductor piezoeléctrico, éste genera un alto gradiente térmico, lo que se traduce en una corta vida útil del sonotrodo. Al mismo tiempo, debido a limitaciones del material y fatiga (millones de ciclos por debajo de un minuto), esto limita la temperatura máxima de funcionamiento del sonotrodo no refrigerado de materiales metálicos a aproximadamente 1000 K.

Un problema importante en todas las aplicaciones que utilizan ultrasonidos a alta temperatura es la selección de un material que sea capaz de transferir vibraciones de alta intensidad sin destruirlo. Los candidatos naturales para las guías de ondas que funcionan a alta temperatura son metales de alto punto de fusión y cerámicas técnicas.

Los metales refractarios que funden a temperaturas superiores a 1000 K pierden significativamente su resistencia. Esta disminución es particularmente grande después de superar 1/2 de temperatura homóloga (temperatura de funcionamiento a temperatura de fusión). Por ejemplo, la aleación Ti6Al4V (ASTM calidad 5) a temperatura ambiente alcanza incluso 600 MPa de resistencia a la fatiga, y por encima de 1073 K esta resistencia disminuye por debajo de 100 MPa. De manera similar, en el caso de sinterizados de tungsteno (Densimet), que alcanza incluso hasta 400 MPa de resistencia a la fatiga, y a 1573 K esta resistencia disminuye por debajo de 20 MPa.

Las cerámicas técnicas, incluyendo grafito, nitruro de silicio, carburo de silicio, materiales de tipo SiAlON, son frágiles y tienen baja resistencia a la tracción. Soluciones conocidas gracias al estado de la técnica y la práctica industrial (I+D de Constellium sobre el uso de ultrasonidos de potencia en aluminio líquido: una visión general de Philippe Jarry y Jean-Louis Achard) sólo permiten transferir una baja amplitud de vibración, y su aplicación más amplia se ve limitada por la dificultad de predecir el proceso de agrietamiento de la cerámica bajo la influencia de ultrasonidos.

Como técnica anterior más cercana a la presente invención deben indicarse documentos que describen el uso de metales refractarios y cerámicas técnicas para las guías de ondas que operan a altas temperaturas, en la medida en que ninguno de los documentos disponibles en el estado de la técnica indica compuestos fibrosos con matrices cerámicas o metálicas y con un refuerzo cerámico o metálico como materiales posibles de ser utilizados en sistemas de ultrasonidos de alta potencia, tampoco indican una orientación esencial de la guía de ondas y las fibras para el correcto funcionamiento del sistema.

Existe una falta de coherencia en las definiciones de materiales compuestos. En esta descripción se adopta una definición de A.Boczowska, J.Kapuściński, Kompozyty, WPW, Warszawa 2000. Un compuesto, también conocido como material compuesto, es un material que cumple las siguientes condiciones acumulativas: está compuesto por al menos dos fases de diferentes propiedades, que están conectadas de manera que presenta nuevas propiedades en relación con los componentes tomados por separado o resultantes de una simple suma de sus propiedades. A esas fases a veces se les asignan nombres correspondientes a sus funciones mecánicas y una de las fases se describe como matriz, mientras que la segunda como refuerzo. Una forma particular del compuesto descrito en la solicitud es un compuesto fibroso, cuyo refuerzo constituye un material fibroso, es decir, el material formado de manera que una de sus dimensiones es muchas veces mayor que las demás.

El documento de patente americana US3599319 describe el uso de una guía de ondas de grafito y que transmite vibraciones longitudinales. La guía de ondas con multiplicador de amplitud está pegada al elemento metálico debido a las dificultades tecnológicas en la conexión del grafito con el transductor de ultrasonidos. En la aplicación indicada,

la intensidad de las vibraciones está limitada por la baja resistencia del grafito y la resistencia de la conexión pegada.

5 El documento de patente americana US4798332 describe una guía de ondas metálica colocada ortogonalmente que sirve para atomización de metales líquidos. Esta solución se utiliza de manera satisfactoria en el caso de materiales de bajo punto de fusión, sin embargo, debido a la falta de materiales con alta resistencia a temperaturas superiores a la temperatura de fusión de las aleaciones de aluminio, su uso se limita a una escala más amplia.

10 El documento de patente chino CN110512070 describe una guía de ondas cerámica colocada ortogonalmente que sirve para el procesamiento de metales líquidos. Esta solución sólo puede utilizarse con ultrasonidos de baja intensidad debido a la fragilidad de las cerámicas monolíticas.

15 El documento de patente soviética SU1715501A1 describe una guía de ondas con la punta ortogonal, que sirve para la atomización de metales líquidos y sus aleaciones. Esta solución no puede utilizarse a una temperatura que supere la temperatura de fusión de las aleaciones de aluminio debido a la baja resistencia indicada anteriormente del material metálico a esta temperatura.

20 El documento de patente europea EP0842018 describe un sonotrodo giratorio que sirve para corte, realizado de un disco metálico comprimido entre un transductor y una guía de ondas adicional. Esta solución no puede utilizarse a altas temperaturas debido a la baja resistencia de los materiales metálicos.

25 El documento de patente japonesa JP6074583 describe una guía de ondas realizada de un material metálico en forma de alambre, la solución está dedicada también a la atomización. El uso de material metálico limita la temperatura máxima de funcionamiento de esta solución.

El documento de patente americana US7744729 presenta un sonotrodo con una punta cerámica, en el que se excitan las vibraciones longitudinales, el cual está destinado a funcionar trabajar con metales líquidos. El pequeño tamaño de la terminación y la fragilidad de la cerámica monolítica limitan la aplicación de esta solución.

30 El documento de patente europea EP2731742 describe una placa de un compuesto de vitrocerámica excitada por un vibrador neumático por debajo de frecuencias de ultrasonidos, es decir, de 100 Hz a 20000 Hz, mientras que las frecuencias de ultrasonidos se reconocen comúnmente a partir de 20000 Hz. Además, se carga un compuesto a lo largo de los ejes de las fibras y con una amplitud baja, de modo que no puede considerarse que funciona en condiciones de carga de fatiga. La matriz de materiales de cerámicas de óxido tiene que proporcionar una baja humectabilidad a través de aluminio líquido, lo que resulta ventajoso, por ejemplo, durante la filtración de un aluminio líquido, pero no favorece las otras aplicaciones, por ejemplo, la atomización de metales.

35 Tal como se muestra en la literatura "Murčinková, Zuzana, y otros, *Damping properties of fibre composite and conventional materials measured by free damped vibration response*. Advances in Mechanical Engineering 11.5 (2019): 1687814019847009", en el caso de los compuestos cerámica-cerámica, una interacción entre una fibra y una matriz da como resultado un aumento del coeficiente de amortiguación. Igualmente, en el caso de materiales compuestos con matriz metálica "Gu, Jinhai y otros, *The damping capacity of aluminum matrix composites reinforced with coated carbon fibers*. Materials Letters 58.25 (2004): 3170-3174." y "Botelho, EC, y otros, *Damping behavior of continuous fiber/metal composite materials by the free vibration method*. composites part B: Engineering 37.2-3 (2005): 255-263.", una interacción entre una fibra y una matriz aumenta sustancialmente el coeficiente de amortiguación. Tal como se demostró, también en el caso de los compuestos carbono-carbono "Vaidya, U. K., P. K. Raju y W. Kowbel. *Material damping studies on carbon-carbon composites*." Carbon 30,6 (1992): 925-929.", el alto coeficiente de amortiguación excluye el uso de esos materiales para sonotrodos, y las vibraciones dan como resultado el agrietamiento de la matriz y la pérdida de cohesión del compuesto. Debido a este hecho, generalmente se acepta que los materiales compuestos no se utilizan para fabricar guías de ondas que vibran para el procesamiento de metales líquidos.

40 La publicación "Eskin, Dmitry G., K. Al-Helal y Iakovos Tzanakis. *Application of a plate sonotrode to ultrasonic degassing of aluminum melt: acoustic measurements and feasibility study*. Journal of Materials Processing Technology 222 (2015): 148-154" describe una solución cercana a la presente invención, relativa al uso de un sonotrodo de placa realizada de una aleación sólida Ti6Al4V para el procesamiento por ultrasonidos de una aleación de aluminio líquido. El uso del material metálico limita sustancialmente la posibilidad de utilizarlo a temperaturas más elevadas y la posible amplitud que se ha de transmitir.

60 Como otros documentos de patente de interés, relevantes para el estado de la técnica, que describen guías de ondas dedicadas a operar a alta temperatura, procedimientos para enfriarlas y materiales de los que están realizadas, cabe enumerar: US2004124745, CN110666183, CN209792610, CN110465672, EP2832456, GB952042, EP0689774, JPS59189042, CN1422718, DE2656330, US2889580, US3275787, US3833163, US2012216576,

GB1594977, US3682459, JP2002096024, CN106835006, CN102935742, CN201305623, CN102554195, US8844897, JP2011177787, CN104384483, JP5570883, JPH04305279, US376236, CN106795583, CN201713563, JPH09220661, JPH02121830, JPH05427, JP2011051007, CH707125, JPS5925904A, WO2012148714, JP2003138303, EP1238715, EP0434980, JPS59211571, KR101764289, CN107138733, JPH01191707, 5 US5198157, CN105855558, CN107900364, CN202169374, US4981425, EP1238715, CN103433499, US4473187A, GB1150506, US2488353A, US2889580, DE3032785, CN101332513, CN102935742, US7820249, JPH0911199, JPH09294744, CN107848024, CN102554195, CN110421178, CN110395739, CN110303162, CN209407418, CN209407418, CN110076346, CN109622982, EP1245315, JPH0949007, JPH0949007, RU2714001, CN209849886, CN20984988, CN110355377, CN110666183, WO2020006062, CN109967752, CN109622980, 10 CN107876787, CN204504226, US4798332, US4412505, US4473187 US4402458, US4799622, DE2137083, SU695691, US6247525, JPH08100205, CN201832965, CN105855487, CN109622906, SU850301, CN2776571, CN201538802, CN107306372, US4307128, CN201208649, CN105665730, WO2008080888, US5653346, US5171387, SU1715500A1, SU1715501A1, SU1715502A1, JPH02212097, US6058823, GB2282559, US6497164, GB2248795, GB2270025, GB2325192, DE10353804, JPH07132493, WO2017154113, JP2007307632, 15 CN101966661, CN103071613, CN104550875, US8459122B2, JPH11128836, WO2018168288, JP2004033948, US10233515, US2820263, US3193889, US3459255, US4287755, US5355935, US4662427, US3193889, US3363668, US3599319, US3363668, DE602004004488T2, EP1250972, US9481031B2, DE3106711, SU695691A1, RU2577582C1, WO03068412, US8610334. El documento US2007290575A1 describe un sistema acústico para aplicar energía de vibración que incluye una boquilla conectada a una fuente de energía ultrasónica. El documento US2013083819A1 describe un procedimiento para operar un horno de arco, un dispositivo de medición de oscilación para un electrodo de arco y una configuración para el horno de arco. Utilizando medidas simples para operar el horno de arco, es posible llevar a cabo una medición de la oscilación en por lo menos un electrodo de arco. El documento US2012147921A1 describe un sistema para obtener, de manera inalámbrica, una medición de una característica de un metal fundido. El sistema incluye un bloque de contacto configurado para acoplarse operativamente a un primer extremo de un soporte de lanza sustancialmente hueco. El bloque de contacto está acoplado eléctricamente y de manera desmontable a un sensor de medición y recibe señales analógicas de este. El bloque de contacto convierte las señales analógicas recibidas en señales ultrasónicas y las transmite a través del hueco del soporte de lanza. El documento US2014342107A1 describe una pantalla térmica con un devanado de fibra exterior y un horno de alta temperatura y un convertidor de gas que tiene una pantalla térmica. El documento 20 US2014123758A1 describe sistemas y procedimientos de monitorización de la integridad estructural del horno. Ninguno de los documentos US2007290575A1, US2013083819A1, US2012147921A1, US2014342107A1, US2014342107A1 describen materiales compuestos utilizados para fabricar guías de ondas que vibran para el procesamiento de metales líquidos.

35 El objetivo de la invención es superar las limitaciones descritas anteriormente de metales de alto punto de fusión y cerámicas técnicas y proporcionar un sistema de ultrasonidos confiable adecuado para operar a temperaturas elevadas requeridas para fundir metales y simultáneamente resistente a fatiga de material resultante de vibraciones continuas a esta temperatura.

40 De acuerdo con la invención, se dispone un sistema de ultrasonidos para el procesamiento de metales líquidos y sus aleaciones con vibraciones inducidas. El sistema comprende por lo menos un transductor de ultrasonidos y por lo menos una guía de ondas de material compuesto realizada de un material compuesto que comprende un refuerzo y una matriz. El transductor de ultrasonidos está acoplado a la guía de ondas de material compuesto de modo que, durante el funcionamiento, está configurado para excitar una onda estacionaria de vibraciones mecánicas en la guía 45 de ondas de material compuesto. La matriz comprende un material metálico y/o cerámico, mientras que el refuerzo comprende fibras de material metálico y/o cerámico. El transductor de ultrasonidos está acoplado a la guía de ondas de material compuesto que está configurada para excitar vibraciones mecánicas en el material compuesto transversales a las fibras del material de refuerzo. Los materiales compuestos fibrosos se caracterizan por una alta pérdida mecánica en un rango de alta frecuencia y, por lo tanto, los expertos en la materia no los reconocen como materiales adecuados para su uso en elementos de ultrasonidos. Esto se debe a una gran diferencia en módulos de la fibra y la matriz y pérdidas relacionadas con la transmisión entre un límite de interfase. Debido a una elevada amortiguación resultante de una interacción entre la fibra y la matriz, los expertos en la materia renuncian habitualmente al uso de materiales compuestos para la fabricación de sonotrodos. El sistema de ultrasonidos con la guía de ondas de material compuesto de acuerdo con la invención también se caracteriza por una pérdida 50 relativamente elevada, pero gracias a la alta resistencia a la fractura y al uso de materiales con una elevada resistencia térmica tanto para la matriz como para el refuerzo, puede utilizarse en entornos antes inalcanzables a expensas de una mayor pérdida de potencia - disipada durante una tensión elástica durante el trabajo. Inesperadamente resultó que era posible lograr un nivel de amortiguación aceptable y, al mismo tiempo, la resistencia a la fatiga durante el funcionamiento a altas temperaturas cuando la orientación de la vibración mecánica era transversal a las fibras. La guía de ondas de material compuesto mencionada anteriormente con unas 60 dimensiones de 20x100 mm y un grosor de 2 mm realizada de fibra de carbono en una matriz de carburo de silicio mantuvo la cohesión en el vacío hasta una temperatura de 2000 °C en el cambio de potencia disipada por rozamiento interno en no más de un 10%.

5 Durante experimentos resultó que, utilizando un compuesto que comprende tanto la matriz como el refuerzo fibroso en forma de materiales con alta resistencia térmica, después de establecer una carga resultante de las vibraciones transversalmente a las fibras del refuerzo, fue posible obtener tanto la resistencia a la fatiga a altas temperaturas superando posibilidades de guías de ondas de materiales sólidos, como una amortiguación admisible de vibraciones permitiendo su uso en funcionamiento, por ejemplo, en atomización de materiales líquidos y sus aleaciones.

10 Ventajosamente, la matriz comprende un material cerámico. En estas soluciones se obtuvo una alta resistencia a la temperatura, aunque a costa de una baja humectabilidad. Como materiales cerámicos especialmente ventajosos resultaron ser los materiales seleccionados de un grupo que comprende carbono, carburo de silicio y mezclas de los mismos. La matriz a base de carbono o carburo de silicio se caracteriza por la baja humectabilidad de la mayoría de los metales que no forman carburos y sus aleaciones, por lo que es ideal para su uso en su procesamiento durante una exposición prolongada durante el procesamiento de metales líquidos, por ejemplo, mediante desgasificación de aluminio líquido, u homogeneización de compuestos cerámicos-metálicos, sin embargo, no es adecuado para la atomización por ultrasonidos. Los materiales metálicos son bien humectables por otros metales líquidos y, al mismo tiempo, debido a la baja solvencia de los metales de alto punto de fusión en otros metales y sus aleaciones, puede obtenerse una larga vida útil del sistema mediante la disolución del recubrimiento. Se obtiene un sistema especialmente ventajoso para los sistemas en los que no se forman soluciones sólidas, por ejemplo, se produce W-Cu o Fe-Mg, dado que un recubrimiento no se disuelve.

20 Ventajosamente, la guía de ondas de material compuesto está recubierta de un revestimiento metálico o de una capa metálica difusora que comprende por lo menos un metal o una aleación metálica seleccionada entre un grupo que comprende titanio, niobio, tantalio, renio, tungsteno, molibdeno e iridio. El uso de recubrimientos metálicos permite aumentar la humectabilidad de la guía de ondas a metales líquidos, lo cual es crítico en el caso de atomización por ultrasonidos. Los materiales metálicos son bien humectables por otros metales líquidos y, al mismo tiempo, debido a la baja solvencia de los metales de alto punto de fusión en otros metales y sus aleaciones, puede obtenerse una larga vida útil del sistema mediante la disolución del recubrimiento. Se obtiene un sistema especialmente ventajoso para los sistemas en los que no se forman soluciones sólidas, por ejemplo, se produce W-Cu o Fe-Mg, dado que un recubrimiento no se disuelve.

30 Una conexión particularmente ventajosa es la utilización de una matriz o un revestimiento que comprenda un material metálico y un refuerzo que comprenda un material cerámico fibroso. Dicha conexión aprovecha una alta humectabilidad del material metálico al estar en contacto directo con un material procesado y con una elevada resistencia de las fibras cerámicas a altas temperaturas, lo que se traduce en una larga vida útil en procesos de atomización por ultrasonidos. Una matriz metálica permite obtener una alta humectabilidad sin recubrimientos adicionales y las fibras cerámicas aumentan un rango de temperaturas, en el que se obtiene una resistencia suficiente a la fatiga del material.

35 Ventajosamente, la matriz comprende un material metálico mientras que el refuerzo comprende un material cerámico. En tal configuración se obtiene un compromiso entre la humectabilidad y un rango de temperaturas utilizadas incluso sin recubrimientos adicionales.

40 Ventajosamente, el refuerzo comprende un material fibroso seleccionado entre un grupo que comprende carbono, carburo de silicio y mezclas de los mismos. También, en un material fibroso del refuerzo, el uso de dichos materiales se tradujo en el mayor rango de temperaturas, tanto en combinación de la matriz metálica como también la matriz cerámica. Como material de refuerzo particularmente ventajoso son fibras de carbono o carburo de silicio o mezclas de los mismos. La resistencia de estas fibras se mantiene incluso hasta una temperatura de 2000° C y, en caso de determinadas composiciones, incluso aumenta, de modo que es posible un procesamiento de ultrasonidos eficaz de metales y sus aleaciones a base de hierro, cobalto, níquel o platino. Además, el uso de fibras de carburo limita ventajosamente la difusión de carbono dentro de la matriz metálica, en particular en el caso de sus propiedades de formación de carburo. Adicionalmente, una conexión de las fibras mencionadas anteriormente con una matriz puede optimizarse de manera estándar mediante la aplicación de recubrimientos y capas adicionales sobre las mismas.

50 Ventajosamente, el material de matriz comprende un metal o aleaciones metálicas seleccionadas de un grupo que comprende titanio, niobio, tantalio, renio, tungsteno, molibdeno e iridio. El uso de esos metales proporcionó tanto humectabilidad como resistencia térmica. El grupo de metales mencionado anteriormente se caracteriza por una alta temperatura de fusión y una solubilidad relativamente baja en otros metales, gracias a que es el material de la matriz que proporciona cohesión del compuesto a altas temperaturas y, al mismo tiempo, proporciona una larga vida útil en un contexto de fabricación de la matriz.

60 Ventajosamente, la guía de ondas de material compuesto está recubierta de una capa protectora o de una capa cerámica, que comprende, en particular, un material seleccionado entre un grupo que comprende carbono pirolítico, carburo de silicio y carbono vítreo, aumentando además la resistencia a las altas temperaturas. Los materiales mencionados anteriormente también proporcionan una alta resistencia a la cavitación en un entorno de metales líquidos gracias a lo cual aumentan la vida útil de la guía de ondas de material compuesto en aplicaciones que no

requieren una alta humectabilidad de una superficie, por ejemplo, durante la desgasificación de aleaciones de aluminio o la fabricación de compuestos de metal-cerámicos.

5 Ventajosamente, el transductor de ultrasonidos está acoplado a la guía de ondas de material compuesto por medio de una guía de ondas metálica adicional. Esta configuración permite la excitación de vibraciones transversales. Además, la guía de ondas metálica permite aumentar la distancia entre un transductor, cuya temperatura de funcionamiento normalmente no será superior a 340 K, y la guía de ondas de material compuesto, que está expuesta a unas temperaturas muchas veces superiores. La longitud de la guía de ondas adicional debe seleccionarse de manera que su frecuencia de resonancia longitudinal no se desvíe de la frecuencia de funcionamiento aceptable del transductor de ultrasonidos.

15 Ventajosamente, el sistema de ultrasonidos comprende una segunda guía de ondas metálica, mientras que la guía de ondas de material compuesto está acoplada al transductor de ultrasonidos de manera que queda situada entre el transductor de ultrasonidos y la segunda guía de ondas metálica, en el que el transductor de ultrasonidos está acoplado al segundo transductor metálico mediante un conector roscado. El asiento de la guía de ondas fibrosa entre dos elementos que vibran permite una transmisión estable de las vibraciones a la guía de ondas de material compuesto y proporcionar una presión uniforme de la guía de ondas de material compuesto al transductor o a la guía de ondas intermedia. La guía de ondas de material compuesto en dicho sistema crea una placa presionada por el transductor y la guía de ondas. Se trata de una configuración muy conveniente en muchas soluciones, en particular en la atomización. Además, la presión mediante la segunda guía de ondas metálica elimina la necesidad de utilizar conexiones roscadas poco fiables en la guía de ondas de material compuesto así como conexiones pegadas no separables.

25 Ventajosamente, el sistema de ultrasonidos está provisto de la segunda guía de ondas metálica, mientras que la guía de ondas de material compuesto está acoplada al transductor de ultrasonidos de manera que queda situada entre el transductor de ultrasonidos y la segunda guía de ondas metálica, en el que el transductor de ultrasonidos está acoplado a la guía de ondas metálica por medio del conector roscado. La guía de ondas metálica adicional facilita una fijación y acoplamiento mecánico de la guía de ondas de material compuesto al transductor con el fin de maximizar la amplitud de las vibraciones transversales. Particularmente ventajosa es una configuración con dos guías de ondas metálicas, ya que es posible darles una forma que facilite el montaje de la guía de ondas de material compuesto entre las mismas. Colocar la guía de ondas de material compuesto entre dos guías de ondas permite, seleccionando su longitud, proporcionar una vibración máxima en su lugar de excitación en una guía de ondas de material compuesto y, al mismo tiempo, determinar una dirección de vibraciones transversalmente a las fibras. La configuración es particularmente ventajosa cuando el material de refuerzo es cerámico, ya que permite evitar el roscado de una abertura en la guía de ondas de material compuesto. El roscado resulta problemático en materiales compuestos con fibras cerámicas. Dicha configuración permite también una sustitución rápida de la guía de ondas de material compuesto en caso de desgaste y para proporcionar una presión repetitiva midiendo un par en el conector roscado, mientras simultáneamente un delicado transductor térmico se aleja de una fuente de calor.

40 Ventajosamente, la guía de ondas de material compuesto está acoplada a más de un transductor de ultrasonidos, en el que los transductores de ultrasonidos quedan situados a una distancia igual a un múltiplo de una longitud entre los antinodos de la onda estacionaria en la guía de ondas de material compuesto durante el funcionamiento del sistema. Esto permite aumentar la amplitud de la vibración a altas frecuencias y utilizar transductores de baja potencia, económicos y ampliamente disponibles.

45 Ventajosamente, la guía de ondas de material compuesto está doblada y las fibras de refuerzo mantienen continuidad en un lugar de doblado. Esto permite adecuar el sistema a la aplicación, así como limitar las dimensiones sin perder los beneficios resultantes del uso de material fibroso. En tal caso, la guía de ondas de material compuesto consiste en una parte ortogonal conectada al transductor de ultrasonidos y una parte no ortogonal conectada a la parte ortogonal de manera que, en la parte no ortogonal, se excita una onda transversal y las fibras compuestas mantienen la continuidad entre la parte ortogonal y la parte no ortogonal de la guía de ondas. Una condición operativa crítica de una guía de ondas de material compuesto es excitar una onda transversal en lugar de una longitudinal. En la solución de acuerdo con la invención esto se consigue mediante la ubicación ortogonal del transductor respecto a la guía de ondas de material compuesto. La propia guía de ondas de material compuesto y excitada por la onda transversal puede estar sometida a modificaciones de manera que sus partes distales no sean ortogonales al eje del transductor y, gracias a que la parte ortogonal está conectada directamente al transductor y manteniendo las fibras de material compuesto la continuidad entre las partes, debe excitarse una onda transversal en ellas. En consecuencia, la guía de ondas puede redirigirse sin excitar ondas longitudinales desfavorables y, por lo tanto, puede utilizarse con éxito en aplicaciones en las que se requiere una geometría específica de la guía de ondas, por ejemplo, durante la dirección de una corriente de líquido o durante la excitación de los tubos de material compuesto.

La guía de ondas de material compuesto presenta ventajosamente una estructura periódica de las fibras de refuerzo de distancia variable de la superficie neutra de la onda estacionaria durante el funcionamiento y distribuida de manera que, durante el funcionamiento del sistema, las fibras quedan situadas más lejos de la superficie neutra y más cerca de la superficie exterior de la guía de ondas, en los alrededores de los antinodos de la onda estacionaria, que en los alrededores de los nodos de la onda estacionaria. Esta configuración permite un aumento local de la resistencia de la guía de ondas en los lugares más susceptibles a sufrir daños. La superficie neutra en el modo particular de la onda estacionaria de la guía de ondas debe entenderse como una superficie que comprende los puntos de la guía de ondas en los que no se produce tensión normal, en un momento en que la guía de ondas tiene un impulso cero, por lo que la amplitud alcanza el máximo (máximo en un diagrama de desplazamiento de un punto de guía de ondas en función del tiempo, que suele adoptar forma de función sinusal). En ciertas estructuras es difícil definir un eje o superficie neutral y, cuando se excitan simultáneamente múltiples modos, este concepto puede perder sentido físico.

Un procedimiento de procesamiento de metales que comprende metales líquidos y sus aleaciones de acuerdo con la invención se caracteriza por el hecho de que el metal se funde y el metal fundido se somete al funcionamiento de una guía de ondas que vibra en un sistema de ultrasonidos, por medio del sistema de ultrasonidos de acuerdo con la invención. Esto permite aumentar la temperatura máxima del procesamiento de metal líquido aplicando simultáneamente una gran amplitud, en particular, durante la aleación de los metales líquidos y su atomización. El procedimiento de acuerdo con la invención aplicando el sistema de ultrasonidos de acuerdo con la invención permite trabajar con parámetros no disponibles para ningún otro material homogéneo, es decir, por encima de un total de 20 kHz, 15  $\mu\text{m}$  de amplitud y 1300  $^{\circ}\text{C}$ .

Se explican, a continuación, unas realizaciones de la presente invención con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales la figura 1a presenta la guía de ondas de acuerdo con el estado de la técnica situada paralela al eje del transductor, la figura 1b presenta la guía de ondas de acuerdo con el estado de la técnica situada ortogonalmente al eje del transductor, la figura 2 presenta una forma de destrucción de la guía de ondas de material compuesto con fibras cargadas longitudinalmente, la figura 3 presenta el sistema de ultrasonidos según la invención de acuerdo con la primera realización, la figura 4 presenta el sistema de ultrasonidos con la guía de ondas metálica de acuerdo con la segunda realización, la figura 5 presenta un esquema general del sistema de ultrasonidos provisto de la guía de ondas intermedia, la guía de ondas de material compuesto dispuesta ortogonalmente al transductor y la guía de ondas metálica adicional dispuesta en paralelo al transductor, la figura 6 presenta el sistema de ultrasonidos con la guía de ondas de material fibroso con entrelazado de la fibra de acuerdo con la séptima realización, la figura 7 presenta el sistema de ultrasonidos con dos transductores de ultrasonidos de acuerdo con la octava realización, la figura 8 presenta el sistema de ultrasonidos sistema con ocho transductores de ultrasonidos de acuerdo con la novena realización, la figura 9 presenta el sistema para la atomización de metales líquidos con el uso del sistema de ultrasonidos de acuerdo con la invención, la figura 10 presenta el sistema de ultrasonidos con la guía de ondas de material fibroso con la parte ortogonal y una parte no ortogonal al eje del transductor de acuerdo con la décima realización.

En la figura 1a se presentó el sistema de ultrasonidos conocido del estado de la técnica con el transductor 101 conectado a la guía de ondas 102a por medio de un conector roscado 103, donde el eje de la guía de ondas es coaxial al eje del transductor. La onda longitudinal se excita en una guía de ondas 102a.

En la figura 1b se presentó el sistema de ultrasonidos conocido del estado de la técnica con el transductor 101 conectado a la guía de ondas 102b por medio de un conector roscado 103, donde el eje de la guía de ondas es ortogonal al eje del transductor. La onda transversal se excita en una guía de ondas 102b.

La figura 2 presenta una guía de ondas de material compuesto en forma de cilindro 202 paralelo al eje del transductor 201 realizado del compuesto fibroso con una marcada distribución de fibras, y la misma guía de ondas de material compuesto 202a deformada por vibraciones longitudinales y distribución de tensiones ( $\sigma$ ) en la guía de ondas con una distancia desde el frente de la guía de ondas hasta el nodo de onda ( $1/4 \lambda$ ) indicada. Cabe señalar que una carga de este tipo es desfavorable para la mayoría de los compuestos fibrosos, ya que el sistema de ultrasonidos con el transductor y la guía de ondas dispuestos coaxialmente no es capaz de transmitir grandes amplitudes de las vibraciones.

La figura 3 presenta el sistema de ultrasonidos de acuerdo con la primera realización. El transductor piezoeléctrico 301 con una capacitancia de 11,9 nF, con cerámica PZT 8 y una frecuencia nominal de funcionamiento de 20 kHz se conecta a una placa plana, de 15 mm de grosor, de 90 mm de ancho y 200 mm de largo, fabricada un material compuesto de tipo carbono-carbono, una guía de ondas de material compuesto 302 realizada de pirólisis del precursor orgánico y que tiene fibra continua realizada de carbono formada mediante el procedimiento de pirólisis de poliacrilonitrilo, distribuida unidireccionalmente transversal al eje del transductor y un grafito constituye una matriz. El refuerzo del material compuesto es una fibra de carbono y una matriz del material compuesto es carbono en forma de grafito. La deformación del material compuesto durante el tiempo de funcionamiento se presentó

esquemáticamente en el dibujo con una referencia 302a. Durante el tiempo de funcionamiento se excita una onda transversal en una guía de ondas, siendo la distancia de media onda ( $1/2 \lambda$ ) de 25 mm. La invención podría realizarse también con otros tipos de guías de ondas, por ejemplo, guías de ondas cilíndricas, pero las guías de ondas de placa plana funcionan bien en la atomización de metales, por lo que se seleccionó dicha realización. La conexión del transductor 301 a la guía de ondas de material compuesto 302 se realizó mediante los conectores 303.

La figura 4 presenta el sistema de ultrasonidos de acuerdo con la segunda realización. El transductor piezoeléctrico 401 con una capacitancia de 5,8 nF, con cerámica PZT 8 y una frecuencia nominal de funcionamiento de 40 kHz se conecta a la guía de ondas de material compuesto del compuesto carbono-carburo de silicio, con un grosor de 6 mm, con una anchura de 20 mm y con una longitud de 300 mm, realizada mediante infiltración de compuesto carbono-carbono con procedimiento de silicio líquido, en el que la fibra continua de carbono se distribuye unidireccionalmente transversal al eje del transductor y el carburo de silicio constituye una matriz. El transductor 401 está conectado a la guía de ondas metálica 404 con una longitud de 62 mm realizado en una aleación Ti6Al4V con un diámetro de 20 mm. El uso de la guía de ondas metálica 404, que presiona la guía de ondas de material compuesto 402 al transductor 401 permite mantener una distribución uniforme en la interfaz transductor 401 - guía de ondas de material compuesto 402. El uso de esta configuración permite una excitación eficaz de la onda transversal incluso cuando el conector roscado de la guía de ondas de material compuesto y el transductor resultan insuficientemente resistentes debido a que el conector roscado 403 coopera con la guía de ondas 404 realizada de metal, lo que resulta ventajoso para la conexión mediante conectores roscados 403.

La figura 5 presenta un esquema general del sistema de ultrasonidos de acuerdo con la tercera, cuarta, quinta y sexta realización.

En la tercera realización, el transductor piezoeléctrico 501, con una capacitancia de 5,8 nF, con cerámica PZT 8 y una frecuencia nominal de funcionamiento de 40 kHz, se conecta a la guía de ondas realizada de compuesto de carburo de silicio - carburo de silicio con un grosor de 2 mm, con una anchura de 20 mm y una longitud de 150 mm, realizado por infiltración de la fase gaseosa de la preforma de carburo de silicio, en el que se mezcla la fibra continua realizada de carburo de silicio con un diámetro de 140  $\mu\text{m}$  y distribuida unidireccionalmente transversal al eje del transductor y el carburo de silicio constituye una matriz. Una fibra de carburo de silicio es el refuerzo del compuesto, y el carburo de silicio es la matriz. La guía de ondas metálica 504 con una longitud de 62 mm de aleación Ti6Al4V con un diámetro de 20 mm está conectada mediante un conector roscado 503 a una guía de ondas metálica adicional 505 fabricada en aleación Ti6Al4V con una longitud de 62 mm. La guía de ondas de material compuesto 502 se encuentra situada entre la guía de ondas metálica 504 y la guía de ondas metálica adicional 505. La guía de ondas metálica adicional está conectada al transductor de ultrasonidos 501.

En la cuarta realización, el transductor piezoeléctrico 501, con una capacitancia de 5,8 nF, con cerámica PZT 8 y una frecuencia nominal de funcionamiento de 40 kHz, se conecta a la guía de ondas del compuesto de carburo de silicio - carburo de silicio con un grosor de 2 mm, una anchura de 30 mm y una longitud de 400 mm, realizado por infiltración a partir de la fase gaseosa de la preforma del procedimiento del carburo de silicio, en el que la fibra continua realizada de carburo de silicio está tejida en tejido satinado y orientada perpendicular al eje del transductor y la matriz constituye un carburo de silicio, y la guía de ondas de material compuesto está cubierta con un recubrimiento de renio metálico, con un grosor de 5  $\mu\text{m}$ , obtenido por deposición química en fase de vapor utilizando el procedimiento de precursores orgánicos (MO-CVD). Una fibra de carbono de silicio es el refuerzo del compuesto y el carburo de silicio es la matriz, y un recubrimiento constituye un renio metálico. La guía de ondas metálica 504 con una longitud de 56 mm de aleación Ti6Al4V con un diámetro de 20 mm se conecta a la guía de ondas metálica adicional 505 fabricada en aleación Ti6Al4V con una longitud de 62 mm con un conector roscado 503. La guía de ondas de material compuesto 502 se encuentra entre la guía de ondas metálica 504 y la guía de ondas metálica adicional 505. La guía de ondas metálica adicional está conectada al transductor de ultrasonidos 501.

En una quinta realización, el transductor piezoeléctrico 501 con una capacitancia de 5,8 nF, con cerámica PZT 8 y una frecuencia nominal de funcionamiento de 40 kHz se conecta a la guía de ondas de compuesto de niobio-carburo de silicio con un grosor de 0,5 mm y con una anchura de 20 mm y con una longitud de 180 mm, producido mediante un procedimiento de prensado isostático en caliente de fibras de carburo de silicio en una cápsula de niobio con una pureza conforme a la norma ASTM B393 a una presión de 200 MPa en un tiempo de 10 ks y una temperatura de 1473 K, en el que la fibra cortada con una longitud de 15 mm realizada de carburo de silicio y con un diámetro de 140  $\mu\text{m}$  se distribuye de manera caótica en el plano transversal al eje del transductor y un niobio deformado durante el prensado isostático constituye la matriz. La fibra de carburo de silicio es el refuerzo del compuesto y el niobio metálico es la matriz. La guía de ondas metálica 504 con una longitud de 58 mm está realizada de aleación Ti6Al4V con un diámetro de 20 mm conectada mediante un conector roscado 503 a la guía de ondas metálica adicional 505 fabricada en aleación Ti6Al4V con una longitud de 124 mm. La guía de ondas de material compuesto 502 se encuentra situada entre la guía de ondas metálica 504 y la guía de ondas metálica adicional 505.

En la sexta realización, el transductor piezoeléctrico 501 con una capacitancia de 5,8 nF, con una cerámica PZT 8 y una frecuencia nominal de funcionamiento de 40 kHz se conecta a la guía de ondas de compuesto de carburo de silicio-niobio con un grosor de 0,5 mm y una anchura de 20 mm y una longitud de 300 mm, fabricada mediante un procedimiento de prensado isostático en caliente de fibras de carburo de silicio en una cápsula de aleación Ti6Al4V a una presión de 200 MPa en un tiempo de 10 ks y a una temperatura de 1073 K, en la que la fibra con un diámetro de 140  $\mu\text{m}$ , cubierta con una capa de carburo de titanio obtenido mediante un procedimiento de deposición física en fase de vapor, está tejida en forma de tejido liso y está situada en un plano transversal al eje del transductor y la aleación deformada durante la presión isostática Ti6Al4V constituye la matriz. La guía de ondas de material compuesto está cubierta con una capa de renio con un grosor de 2  $\mu\text{m}$  obtenida por deposición física en fase de vapor (PVD). La fibra del carburo de silicio es el refuerzo del compuesto y la aleación Ti6Al4V es la matriz y el renio metálico constituye el recubrimiento. La guía de ondas metálica 504 con una longitud de 41 mm de aleación CuCrZr con un diámetro de 20 mm está conectada mediante un conector roscado 503 a la guía de ondas metálica adicional 505 fabricada en aleación Ti6Al4V con una longitud de 186 mm. La guía de ondas de material compuesto 502 se encuentra entre la guía de ondas metálica 504 y la guía de ondas metálica adicional 505. La guía de ondas metálica adicional 505 está conectada al transductor de ultrasonidos 501. El uso de la guía de ondas de material compuesto adicional 505 permite alejar el transductor 501 de la guía de ondas de material compuesto 502 lo cual resulta ventajoso para el aislamiento térmico del transductor. La guía de ondas metálica adicional 505 también puede cumplir otras funciones, por ejemplo, amplifica la amplitud de la vibración, o constituye un lugar de enfriamiento.

La figura 6 presenta el sistema de ultrasonidos de acuerdo con la séptima realización. El transductor piezoeléctrico 601 con una capacitancia de 11,9 nF, con cerámica PZT 8 y una frecuencia nominal de funcionamiento de 20 kHz está conectado a la guía de ondas de material compuesto 602 realizada de un compuesto carbono-carbono con un grosor de 15 mm y una anchura de 40 mm y una longitud de 200 mm reforzado por la fibra continua distribuida en un 80% unidireccionalmente transversal al eje del transductor y en un 20% distribuida en diagonal formando un ángulo de 45 grados cada 25 mm y recubierta con una capa de un precursor pirolizado de carburo de silicio y un 20% de volumen de tantalio. El refuerzo del compuesto es fibra de carbono, un carbono es la matriz y un carburo de silicio con tantalio constituye el recubrimiento. El uso de entrelazado con periodicidad de acuerdo con la distribución de antinodos de la onda estacionaria disminuye el riesgo de deslaminación de la guía de ondas de material compuesto 602, y el uso de partículas metálicas en la matriz cerámica permite aumentar su humectabilidad.

La figura 7 presenta el sistema de ultrasonidos de acuerdo con la octava realización. Unos transductores piezoeléctricos 701 y 701a con una capacitancia de 11,9 nF, con cerámica PZT 8 y una frecuencia de funcionamiento de 20 kHz están conectados a la guía de ondas de material compuesto 702 realizado de un compuesto carbono-carbono con un grosor de 15 mm, reforzado por la fibra continua ortogonal al eje de los transductores 701 y 701a de manera que la distancia entre los ejes de los transductores es igual al doble de la longitud de la onda estacionaria ( $2\lambda - 80\text{ mm}$ ) en la guía de ondas de material compuesto 702. El uso de dos transductores permite lograr una mayor amplitud de las vibraciones de la guía de ondas y disminuir la carga de un solo transductor piezoeléctrico.

La figura 8 presenta el transductor de ultrasonidos de acuerdo con la novena realización. Los transductores piezoeléctricos 801a-e con una capacitancia de 3,6 nF, con cerámica PZT 4 y la frecuencia de trabajo 80 kHz están conectados mediante un cola cerámica con una guía de ondas de material compuesto 802 en forma de disco con un diámetro de 200 mm realizado del compuesto carbono-carbono con una anchura de 5 mm reforzado con una fibra continua ortogonal a los ejes de los transductores 801a-e de manera que los transductores están distribuidos en el borde de la guía de ondas de material compuesto 802. La fibra de la guía de ondas de material compuesto 802 es ortogonal a los ejes de los transductores 801a-e, situados en los lados opuestos de la guía de ondas en forma de disco e irradia radialmente desde el centro de la guía de ondas de material compuesto 802. El uso de muchos transductores de ultrasonidos permite aumentar la potencia del transductor de ultrasonidos a altas frecuencias.

También es posible utilizar transductores distribuidos a las distancias correspondientes a la mitad de la longitud de onda, funcionando en contrafase. Puede formarse una forma de una envolvente de amplitud de vibración si se utilizan más transductores para longitud de onda y un sistema de sincronización de fase adicional. En tal configuración es posible controlar la forma de la envolvente de las vibraciones.

La figura 9 presenta el sistema de ultrasonidos de acuerdo con la invención durante la atomización de la aleación líquida. Se fundió bronce CuSn6 a una temperatura de 1200  $^{\circ}\text{C}$  en un crisol de grafito 906, después se aplicó como corriente con un diámetro de 0,5 mm 907 vertido sobre la guía de ondas de material compuesto 902 realizada de una fibra de carbono en la matriz de carburo de silicio, en el que la presencia de la fibra en la matriz fue como 60:40, y las fibras estaban distribuidas ortogonalmente al eje del transductor de ultrasonidos 901 con una capacitancia de 11,9 nF, con cerámica PZT 8 y una frecuencia de funcionamiento de 20 kHz a 20  $\mu\text{m}$  de amplitud del transductor, obteniéndose un aerosol del metal líquido 908 cristalizando en un polvo con una gradación de +50-75  $\mu\text{m}$ .

La figura 10 presenta el sistema de ultrasonidos de acuerdo con la décima realización con la guía de ondas de material compuesto 1002a-c, que consiste en la parte ortogonal 1002a conectada al transductor piezoeléctrico 1001 y la parte no ortogonal 1002b conectada a la parte ortogonal de la guía de ondas 1002a de manera que, en la parte no ortogonal de la guía de ondas 1002b, la onda transversal se excita y las fibras del compuesto mantienen continuidad entre la parte ortogonal 1002a y la parte no ortogonal de la guía de ondas 1002b. La segunda guía de ondas metálica 1004 presiona la guía de ondas de material compuesto 1002 al transductor piezoeléctrico 1001 con una capacitancia de 11,9 nF, con cerámica PZT 8 y una frecuencia de funcionamiento de 20 kHz, proporcionando una presión uniforme. La guía de ondas de material compuesto 1002 consiste en las fibras de carbono continuas en la matriz de grafito, tiene un grosor de 5 mm, una anchura de 40 mm y está formada de manera que la parte ortogonal 1002a de la guía de ondas de material compuesto que tiene una longitud de 100 mm se conecta después a la parte no ortogonal de la guía de ondas 1002b que tiene una longitud de 50 mm por medio de la parte intermedia 1002c de la guía de ondas de material compuesto que tiene un radio de curvatura de 20 mm. En un dibujo se indicó la amplitud A de la onda estacionaria que tenía la envolvente indicada esquemáticamente cerca de la guía de ondas de material compuesto 1002 junto con la línea que representa la superficie neutra B. En el caso de la guía de ondas, que comprende partes no ortogonales, es fundamental que una parte de la guía de ondas conectada al transductor sea ortogonal al mismo, que el radio de curvatura de la guía de ondas sea mayor que su grosor, y que la fibra del compuesto mantenga la continuidad entre la parte ortogonal 1002a y la parte no ortogonal 1002b. El uso de la guía de ondas de acuerdo con la realización permite introducir configuraciones complicadas en vibraciones, por ejemplo, crisoles que consisten en compuestos fibrosos.

En otro ejemplo, se utilizó el sistema de ultrasonidos de acuerdo con la invención para la desgasificación de la aleación de aluminio líquida. Se fundió una aleación de aluminio AlSi12 a una temperatura de 800 °C en un crisol de grafito, y se sumergió una guía de ondas de material compuesto cubierta con una capa de carbono pirolítico mediante el procedimiento de deposición en fase de vapor, que consiste en fibras de carburo de silicio en una matriz de carburo de silicio, conectado ortogonalmente al transductor que funciona a una frecuencia de 20 kHz. El uso de un carbono pirolítico como recubrimiento, que no reacciona con la aleación de aluminio líquido, permite aumentar la vida útil de la guía de ondas al limitar la difusión del silicio a la aleación.

En otro ejemplo, se utilizó el sistema de ultrasonidos de acuerdo con la invención para una dispersión de cerámica en cobre líquido. Se fundió cobre electrolítico M1E a una temperatura de 1300 °C en un crisol de grafito y se añadió 1% en masa de polvo de óxido de aluminio con un tamaño de grano promedio de 10 µm y después se sumergió en el mismo una guía de ondas de material compuesto que consiste en fibras de carbono en una matriz de grafito y cubierta con una capa de carburo de silicio. El uso de carburo de silicio como recubrimiento varias veces más duro que un sustrato de carbono permitió limitar una destrucción abrasiva de la guía de ondas de material compuesto.

En otra realización, se utilizó el sistema de ultrasonidos de acuerdo con la invención para atomización de la aleación líquida. Se fundió bronce CuSn6 a una temperatura de 1200 °C en un crisol de grafito, después se vertió con una corriente de un diámetro de 2 mm sobre una guía de ondas realizada de carbono fibroso en una matriz de carbono, en el que las fibras estaban dispuestas ortogonalmente al eje del transductor de ultrasonidos, y la guía de ondas se cubrió con una capa de niobio con un grosor de 20 µm y un tamaño de grano promedio de 200 nm obtenido por deposición física en fase de vapor (PVD). El uso de la capa metálica sobre una superficie de la guía de ondas permitió aumentar su humectabilidad por la aleación líquida CuSn8 y, como consecuencia, duplicar la eficiencia del proceso de atomización manteniendo una alta calidad del producto final.

En otra realización se utilizó el sistema de ultrasonidos de acuerdo con la invención para la atomización de una aleación líquida. La aleación de aluminio 7075 se fundió a una temperatura de 800 °C en un crisol de óxido de aluminio, después se vertió con un chorro de 0,5 mm de diámetro sobre una guía de ondas de dimensiones 20x100x0,5 mm, realizada de un material compuesto sobre una matriz de niobio con un refuerzo de fibras de óxido de aluminio con una estructura de zafiro con un diámetro de 50 µm, donde las fibras estaban dispuestas en forma de alfombra, en el que las fibras estaban orientadas aleatoriamente y una partición de las fibras constituía un 20% de un volumen del compuesto, y la alfombra estaba orientada perpendicularmente al eje del transductor de ultrasonidos que funcionaba a una frecuencia nominal de 40 kHz. El uso de fibras de óxido de aluminio permitió aumentar la vida útil de la guía de ondas de material compuesto y excluir la posibilidad de contaminación por otros elementos.

En otra realización, el sistema de ultrasonidos de acuerdo con la realización de la invención se utilizó para la atomización de aleaciones líquidas. La aleación CuCrZr se fundió a una temperatura de 1200 °C en un crisol de óxido de aluminio y después se vertió con un chorro de 0,5 mm de diámetro sobre una guía de ondas de dimensiones 20x100x0,5 mm realizada de un compuesto sobre una matriz de niobio con un refuerzo de fibras de tungsteno, reforzadas por dispersión por óxido de lantano con un diámetro de 100 µm, en el que las fibras se dispusieron unidireccionalmente perpendiculares al eje del transductor de ultrasonidos que funciona a una frecuencia nominal de 40 kHz, y se obtuvo una guía de ondas de material compuesto mediante prensado isostático

en caliente de fibras de tungsteno en una cápsula de niobio. El uso de fibras de tungsteno reforzadas por dispersión eliminó la posibilidad de contaminación por partículas cerámicas durante la atomización de la aleación.

5 En otra realización se utilizó el sistema de ultrasonidos de acuerdo con la invención para la atomización de aleaciones líquidas. Se fundió bronce CuSn6 a una temperatura de 1200 °C en un crisol de grafito, después se vertió con un chorro de 2 mm de diámetro sobre una guía de ondas de material compuesto con un refuerzo de fibra de carbono en una matriz de carbono, en el que se dispusieron las fibras ortogonalmente al eje del transductor de ultrasonidos, y la guía de ondas se cubrió con una capa de carbón pirolítico de 200 µm de grosor, y después con una capa de tungsteno de 10 µm de grosor obtenida por deposición física en fase de vapor. El uso de una capa intermedia en forma de carbono pirolítico entre la capa de tungsteno y el sustrato de carbono permitió limitar la formación de carburos entre la capa de tungsteno y el sustrato de carbono debido a la menor actividad química del carbono pirolítico y disminuir el desajuste del módulo de elasticidad de la capa de tungsteno y del sustrato de carbono. Como consecuencia, la vida útil del sistema se triplicó en comparación con la capa de tungsteno sin el sustrato de carbón pirolítico.

15 El experto en la materia familiarizado con la presente descripción podrá proponer de manera rutinaria otras formas de la guía de ondas y configuración del transductor, por ejemplo, la guía de ondas de forma o grosor variable, diversos procedimientos de conexión de la guía de ondas al transductor, los compuestos con una fibra adaptada a la forma de la guía de ondas y recubrimientos y capas difusoras adaptadas para trabajar en un medio particular, así como otras soluciones en una gama de materiales de matriz y refuerzo concretos, y longitudes adecuadas de fibras dependiendo de la geometría y la aplicación de la guía de ondas. En particular, el experto en la materia familiarizado con los procedimientos de fabricación de metales y su conexión con metales puede proponer varios procedimientos de aplicación de recubrimientos, incluyendo pulverización térmica, metalización al vacío, soldadura por difusión e infiltración reactiva. El experto en la materia podrá seleccionar la frecuencia de vibración de acuerdo con la aplicación.

25 Las realizaciones descritas pretenden ilustrar la invención definida por las reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Sistema de ultrasonidos para el procesamiento de metales líquidos y sus aleaciones, que comprende por lo menos un transductor de ultrasonidos (301, 401, 501, 601, 701, 701a, 801a, 801b, 801c, 801d, 801e, 901, 1001) y por lo menos una guía de ondas de material compuesto (302, 402, 502, 602, 702, 802, 902, 1002a-c) realizada de un material compuesto que comprende un refuerzo y una matriz, en el que el transductor de ultrasonidos (301, 401, 501, 601, 701, 701a, 801a, 801b, 801c, 801d, 801e, 901, 1001) está acoplado a la guía de ondas de material compuesto (302, 402, 502, 602, 702, 802, 902, 1002a-c) de manera que, durante el funcionamiento, está configurado para excitar una onda estacionaria de vibraciones mecánicas en la guía de ondas de material compuesto (302, 402, 502, 602, 702, 802, 902, 1002a-c) para el procesamiento de metal líquido o aleaciones metálicas, caracterizado por el hecho de que la matriz comprende un material metálico y/o cerámico, mientras que el refuerzo comprende fibras de material metálico y/o cerámico, en el que el transductor de ultrasonidos (301, 401, 501, 601, 701, 701a, 801a, 801b, 801c, 801d, 801e, 901, 1001) está acoplado a la guía de ondas de material compuesto (302, 402, 502, 602, 702, 802, 902, 1002a-c) que está configurada para excitar en la guía de ondas de material compuesto (302, 402, 502, 602, 702, 802, 902, 1002a-c) vibraciones mecánicas transversales a las fibras del refuerzo.
2. Sistema de ultrasonidos de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que la matriz comprende un material cerámico.
3. Sistema de ultrasonidos de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado por el hecho de que la matriz comprende un material seleccionado de un grupo que comprende: carbono y carburo de silicio y mezclas de los mismos.
4. Sistema de ultrasonidos de acuerdo con la reivindicación 1 o 2 o 3, caracterizado por el hecho de que la guía de ondas de material compuesto (302, 402, 502, 602, 702, 802, 902, 1002a-c) está cubierta por un revestimiento metálico o una capa metálica difusora que comprende por lo menos un metal o una aleación metálica seleccionado entre un grupo que comprende titanio, niobio, tantalio, renio, tungsteno, molibdeno e iridio.
5. Sistema de ultrasonidos de acuerdo con la reivindicación 1 o 2 o 3, caracterizado por el hecho de que la matriz comprende un material metálico mientras que el refuerzo comprende un material cerámico fibroso.
6. Sistema de ultrasonidos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por el hecho de que el refuerzo comprende un material fibroso seleccionado entre un grupo que comprende carbono y carburo de silicio y mezclas de los mismos.
7. Sistema de ultrasonidos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por el hecho de que el material de matriz comprende por lo menos un metal o aleaciones metálicas seleccionados entre un grupo que comprende: titanio, niobio, tantalio, renio, tungsteno, molibdeno e iridio.
8. Sistema de ultrasonidos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por el hecho de que la guía de ondas de material compuesto (302, 402, 502, 602, 702, 802, 902, 1002a-c) está cubierta por una capa o revestimiento protector cerámico, que comprende, en particular, un material seleccionado entre un grupo que comprende carbono pirolítico, carburo de silicio y carbono vítreo.
9. Sistema de ultrasonidos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por el hecho de que el transductor de ultrasonidos (501) está acoplado a la guía de ondas de material compuesto (502) mediante una guía de ondas metálica (505).
10. Sistema de ultrasonidos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado por el hecho de que comprende una segunda guía de ondas metálica (404, 504), mientras que la guía de ondas de material compuesto (402, 502) está acoplada al transductor de ultrasonidos (401, 501) de manera que queda situada entre el transductor de ultrasonidos (401, 501) y la segunda guía de ondas metálica (404, 504), en el que el transductor de ultrasonidos (401, 501) está acoplado al segundo transductor metálico mediante un conector roscado (403, 503).
11. Sistema de ultrasonidos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizado por el hecho de que la guía de ondas de material compuesto (702, 802) está acoplada a más de un transductor de ultrasonidos (701, 701a, 801a, 801b, 801c, 801d, 801e), en el que los transductores de ultrasonidos se encuentran situados a una distancia igual a un múltiplo de una longitud entre antinodos de la onda estacionaria en la guía de ondas de material compuesto (702, 802) durante el funcionamiento del sistema.

12. Sistema de ultrasonidos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, caracterizado por el hecho de que la guía de ondas de material compuesto (1002a-c) está doblada y las fibras de refuerzo mantienen continuidad en un lugar de doblado.
- 5 13. Sistema de ultrasonidos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, caracterizado por el hecho de que la guía de ondas de material compuesto (302, 402, 502, 602, 702, 802, 902, 1002a-c) tiene una estructura periódica de las fibras de refuerzo y el transductor de ultrasonidos está adaptado para generar una onda estacionaria de vibraciones que tiene una superficie neutra en la que la distancia de las fibras desde la superficie neutra es variable y está configurada de manera que, durante el funcionamiento del sistema, las fibras quedan  
10 situadas más cerca de la superficie exterior de la guía de ondas en los alrededores de los antinodos de la onda estacionaria que en los alrededores de los nodos de la onda estacionaria.
- 15 14. Procedimiento de procesamiento de materiales que comprenden metales líquidos y sus aleaciones. caracterizado por el hecho de que se funde un material y el material fundido se somete al funcionamiento de una guía de ondas que vibra en un sistema de ultrasonidos, caracterizado por el hecho de que se utiliza el sistema de ultrasonidos tal como se describe en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13.

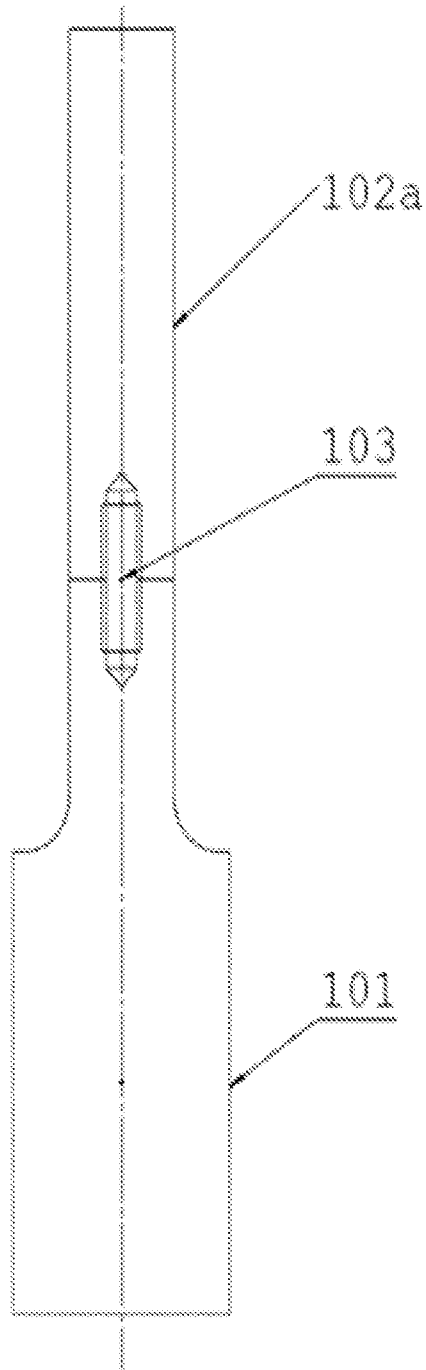


Fig. 1a

(ESTADO DE LA TÉCNICA)

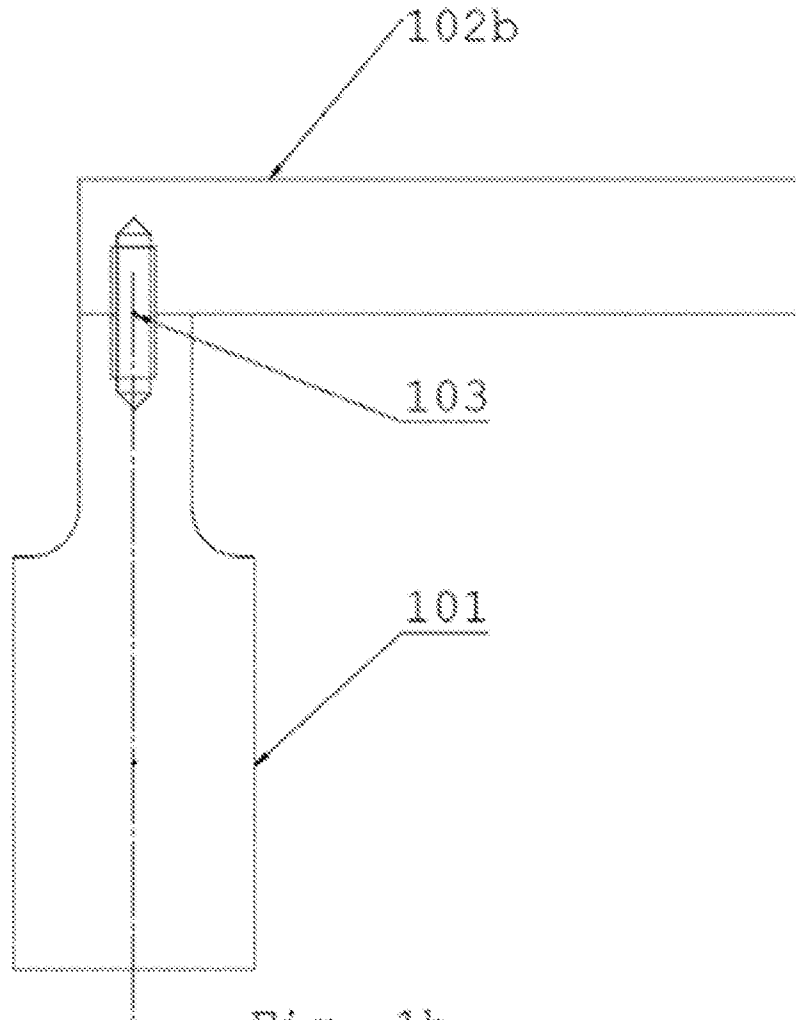
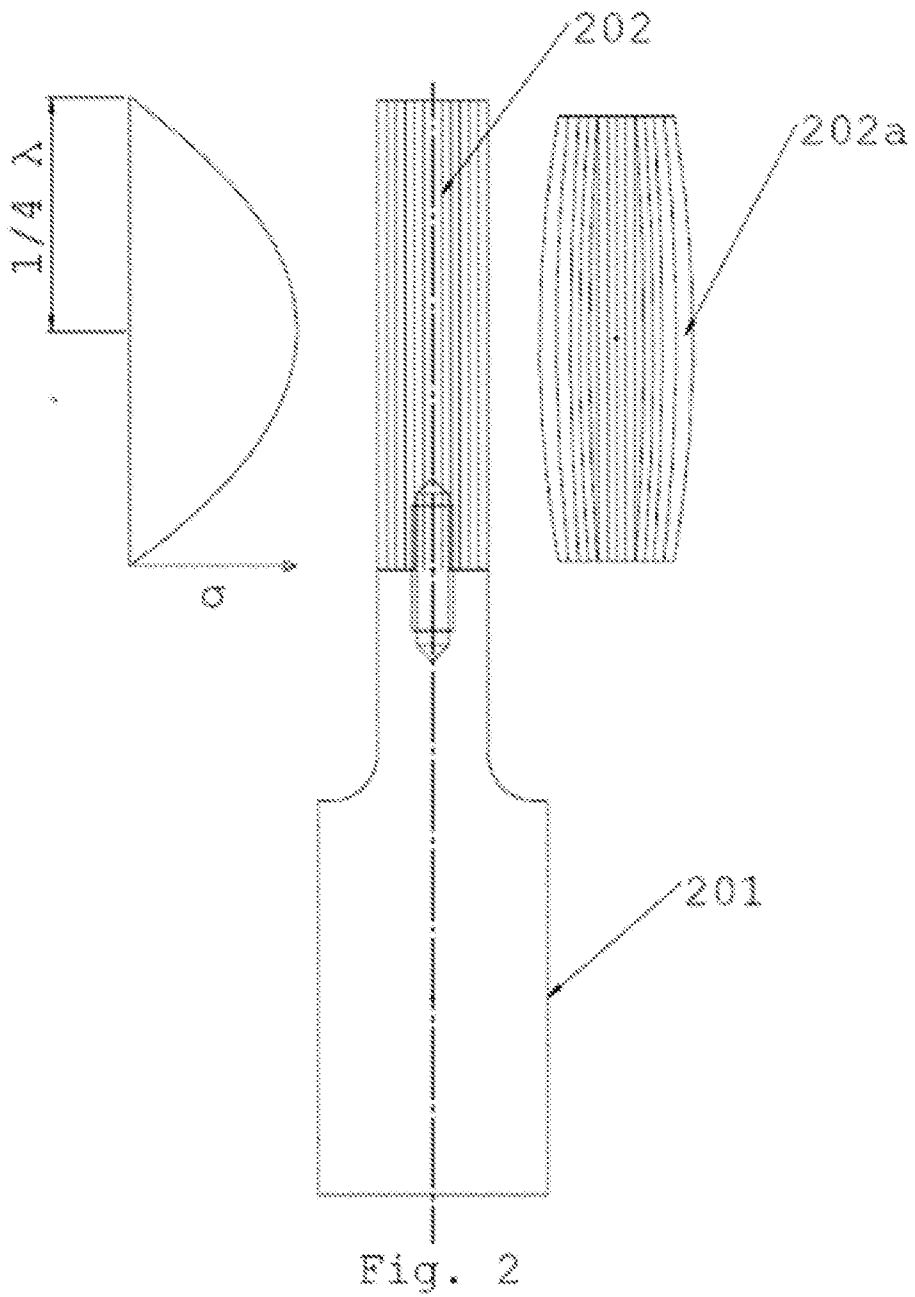


Fig. 1b

(ESTADO DE LA TÉCNICA)



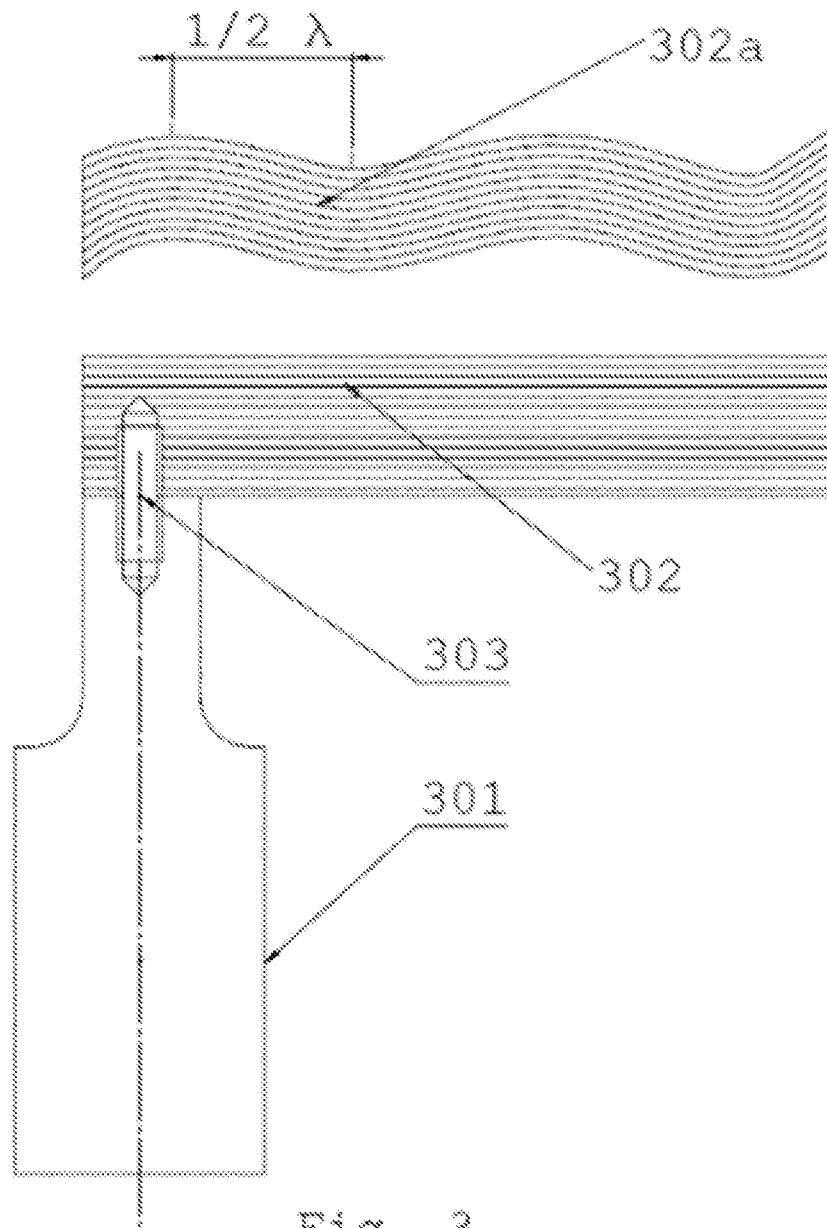


Fig. 3

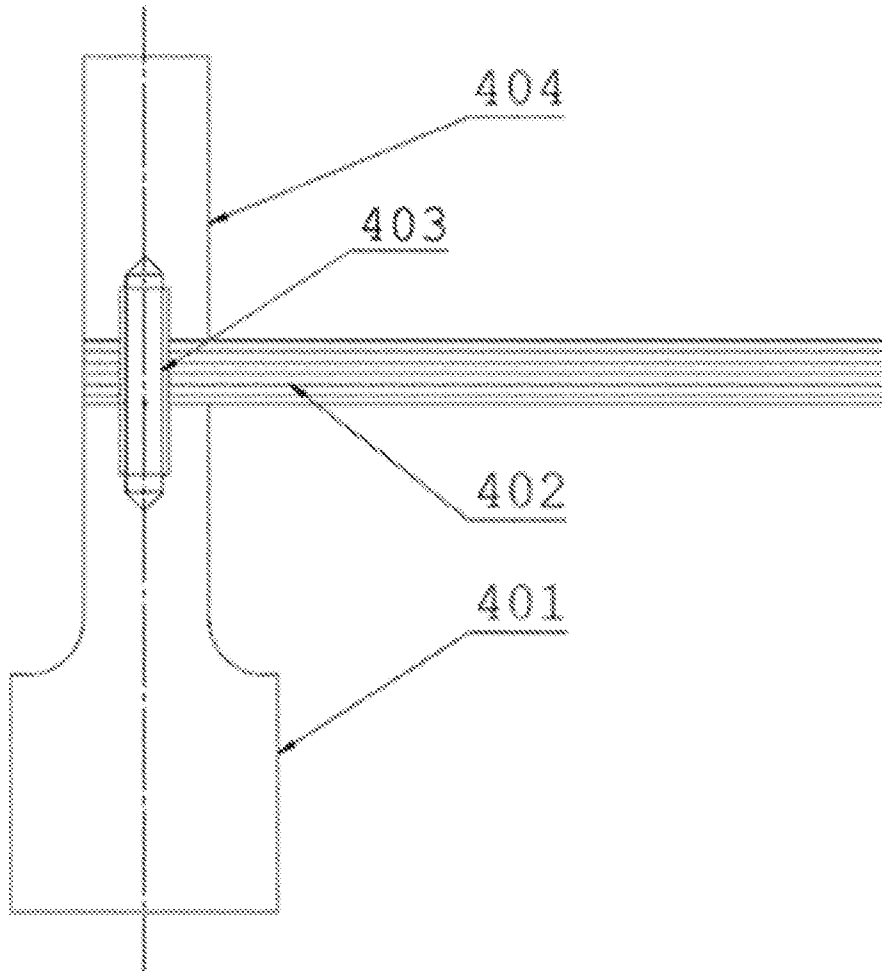


Fig. 4

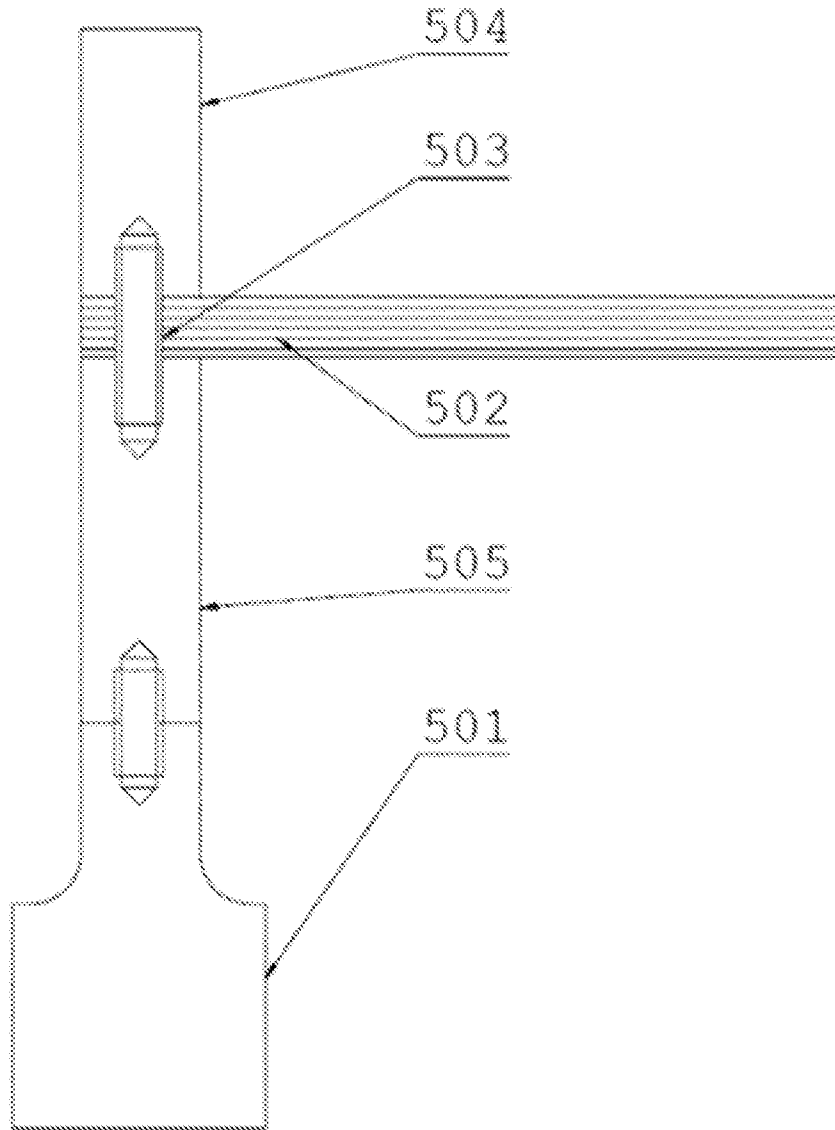


Fig. 5

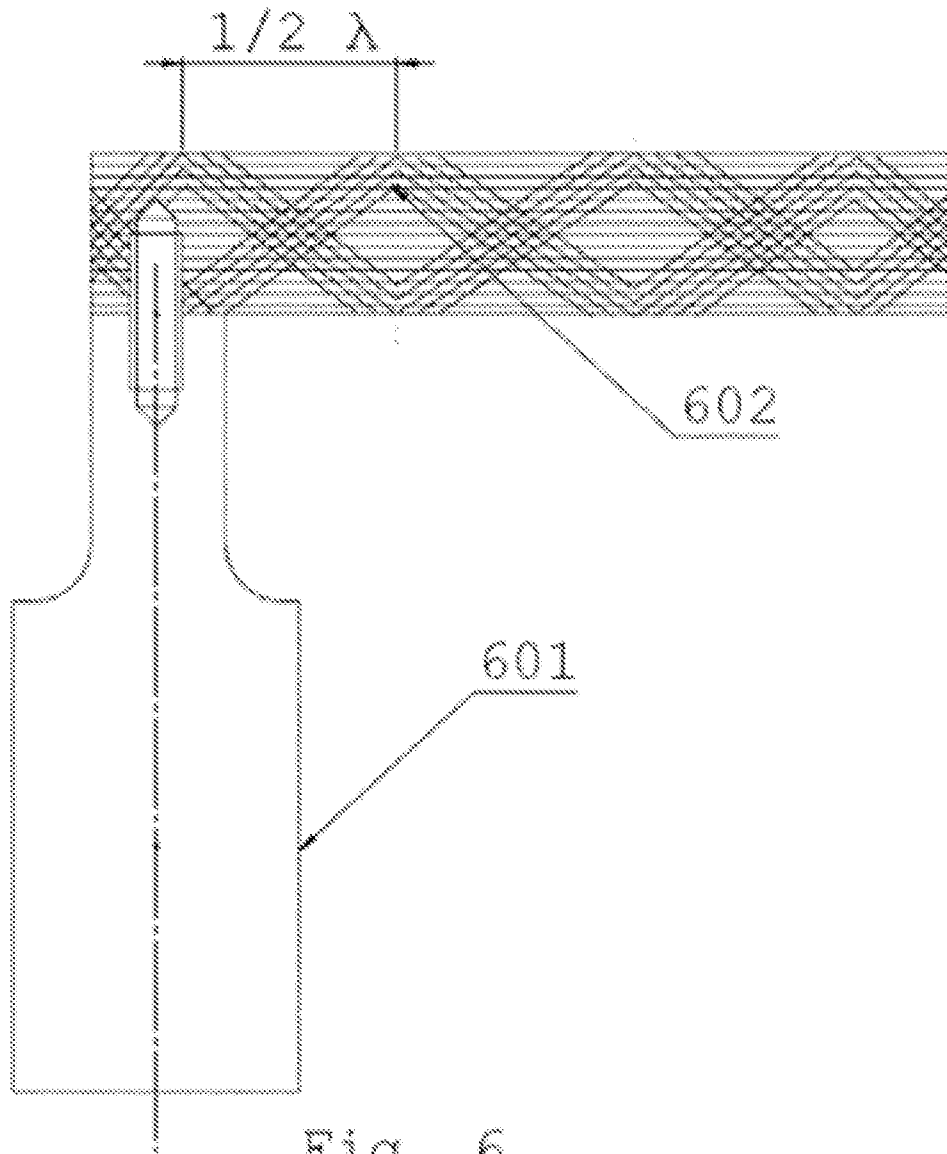


Fig. 6

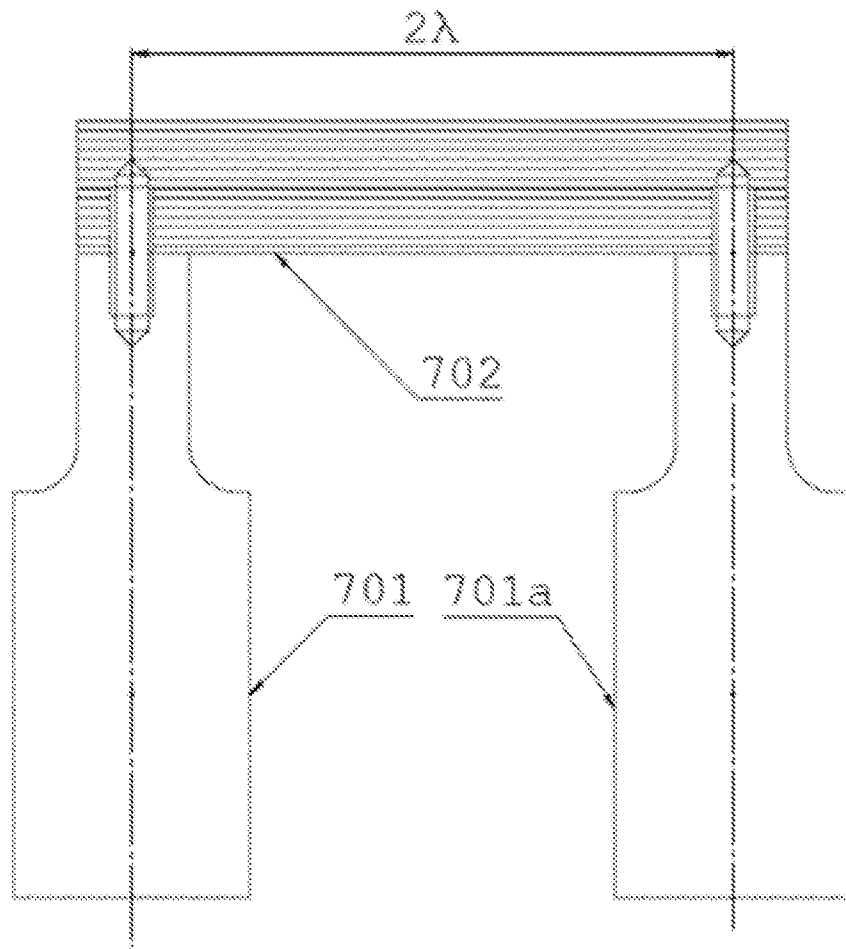


Fig. 7

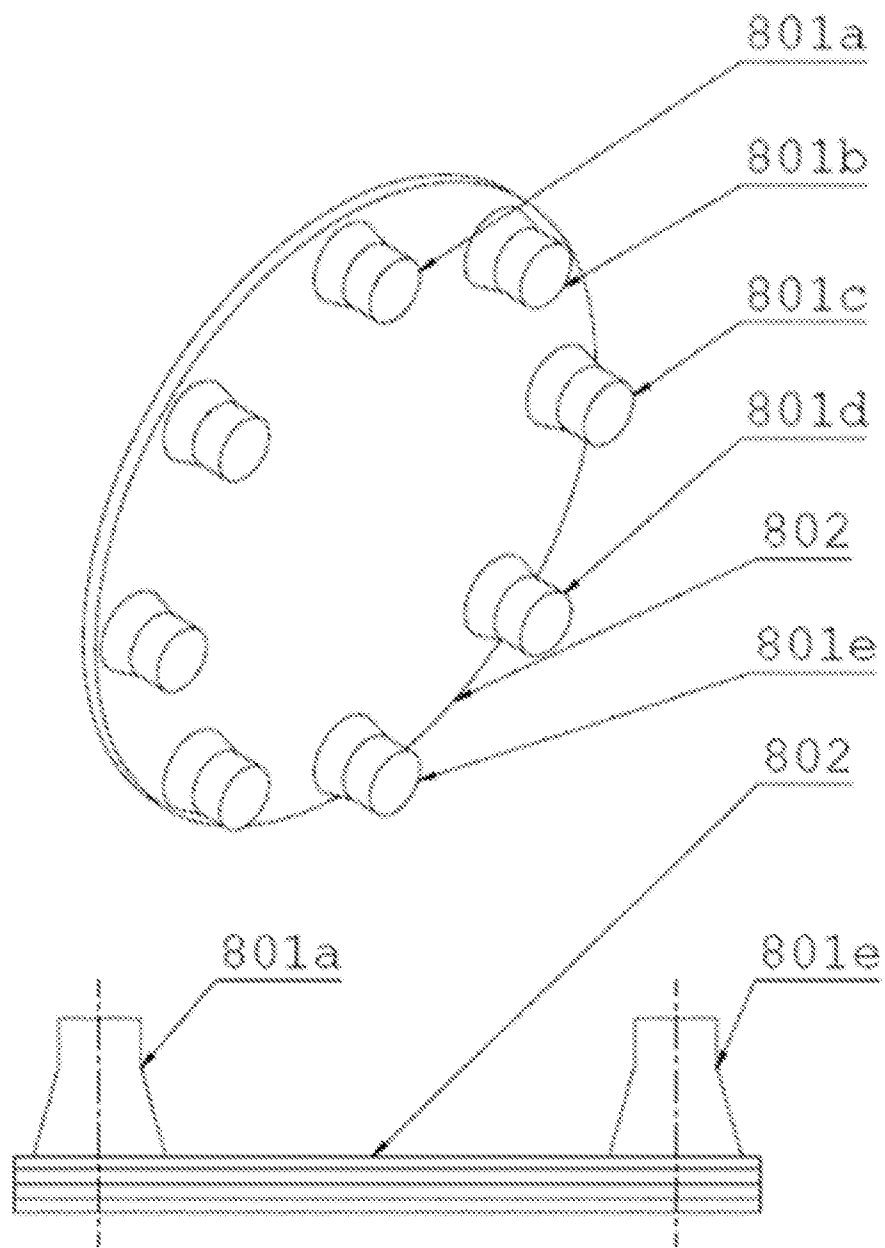


FIG. 8

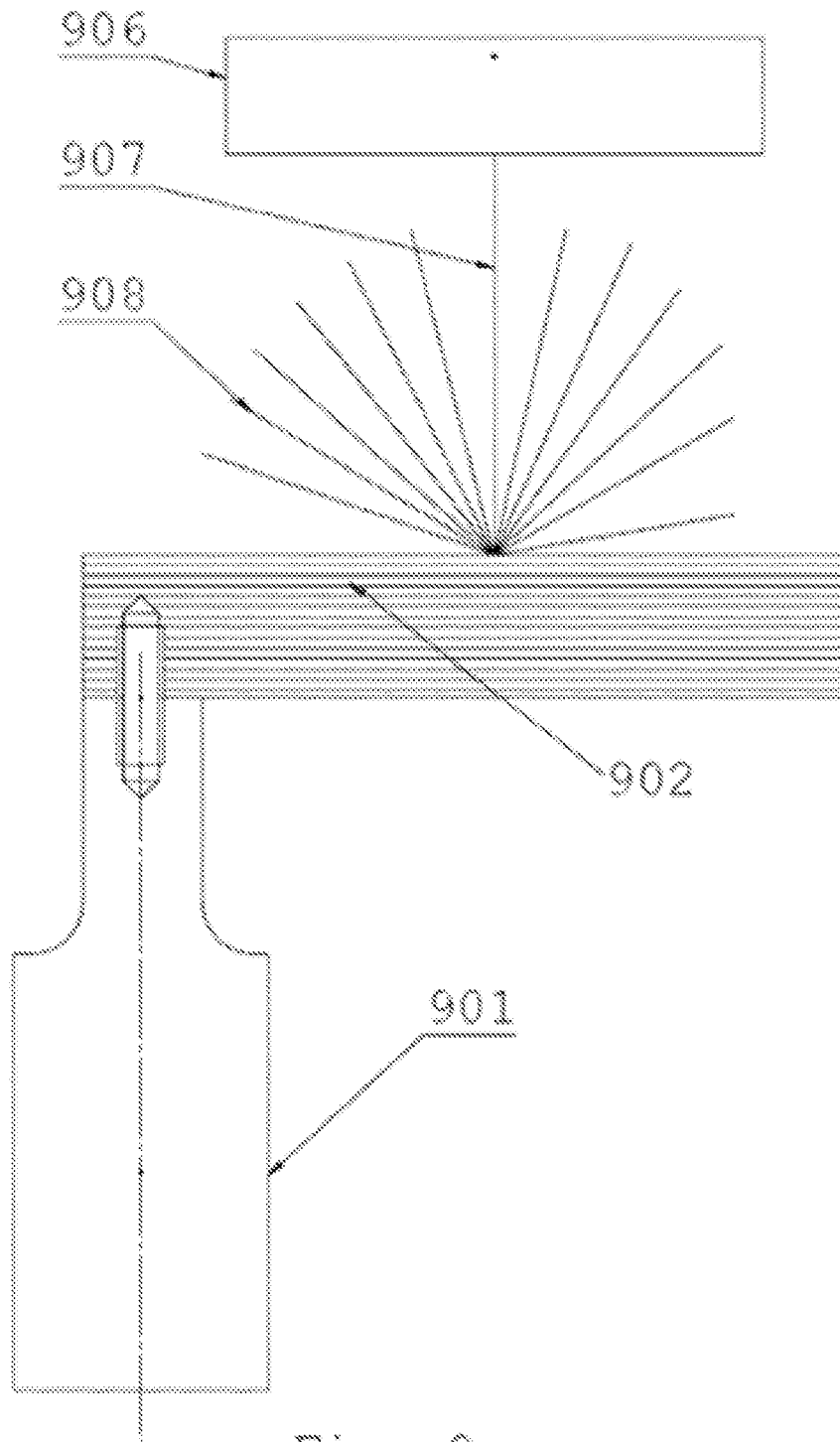


Fig. 9

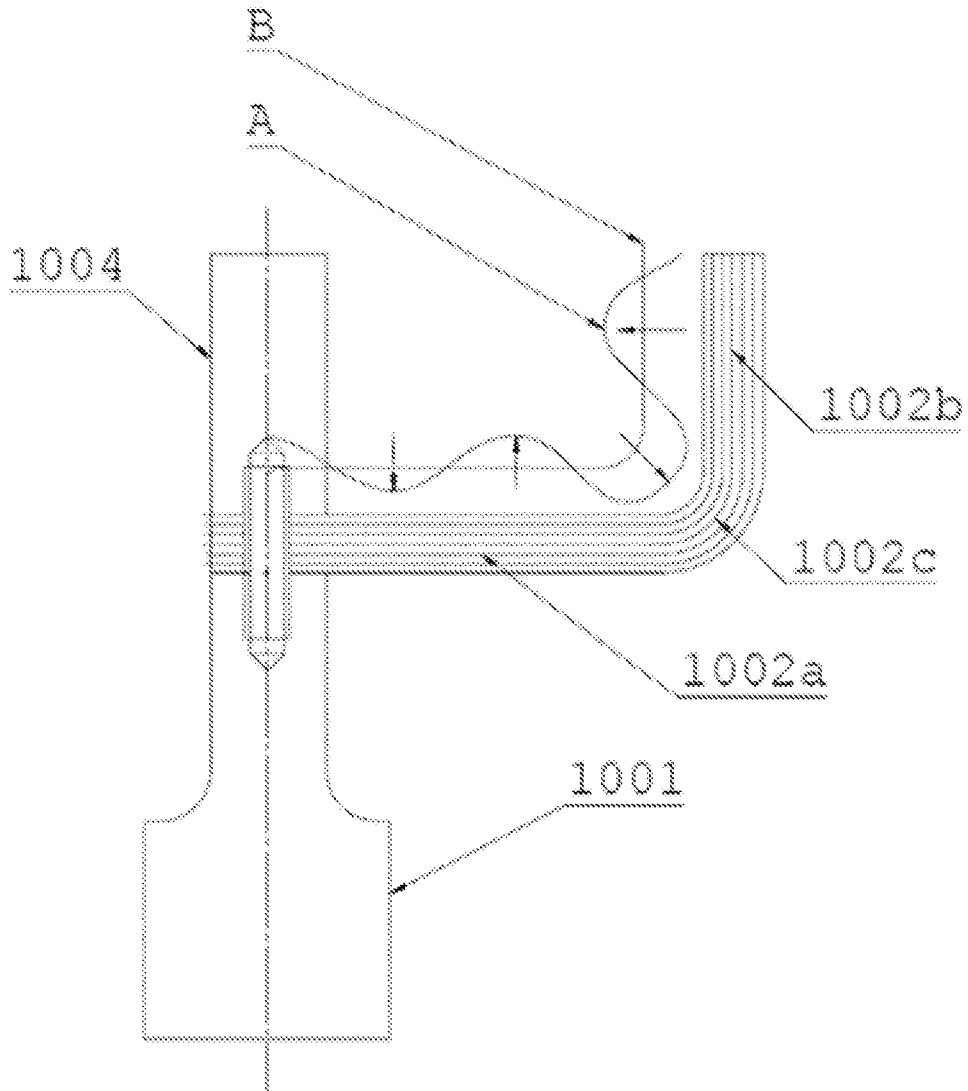


Fig. 10