(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 708 149**

(21) Número de solicitud: 201890083

(51) Int. Cl.:

B08B 3/12	(2006.01)
A47L 1/02	(2006.01)
A47L 1/08	(2006.01)
A47L 11/03	(2006.01)
A47L 11/12	(2006.01)
A47L 13/26	(2006.01)

(12) PATENTE DE INVENCIÓN CON EXAMEN B2

(22) Fecha de presentación:

14.06.2017

(30) Prioridad:

23.06.2016 EP 16382293

(43) Fecha de publicación de la solicitud:

08.04.2019

(88) Fecha de publicación diferida del informe sobre el estado de la técnica:
11.04.2019

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

01.09.2020

Fecha de concesión:

07.05.2021

(45) Fecha de publicación de la concesión:

14.05.2021

(73) Titular/es:

FUNDACIÓN TEKNIKER (100.0%)
Polo Tecnológico de Eibar, C/ Iñaki Goeneaga 5
20600 Eibar (Gipuzkoa) ES

(72) Inventor/es:

GONZALO DE FRANCISCO, Óscar;
SARASUA MIRANDA, Jon Ander y
GOIOGANA BENGOETXEA, Manu

(74) Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

(54) Título: **Método y dispositivo para limpieza ultrasónica**

(57) Resumen:
Método y dispositivo para limpieza ultrasónica.
Un método para limpieza ultrasónica de una pieza (60, 600) que comprende: aplicar una solución de limpieza a una superficie (65, 650) de una pieza (60, 600) que hay que limpiar; mover (M) un dispositivo (10, 10', 100) que comprende un sonotrodo (4, 4', 40, 50) a lo largo de dicha superficie (65, 650), manteniendo una distancia (D) entre dicha superficie (65, 650) y la superficie de salida (4e, 4e', 40e, 50e) del sonotrodo (4, 4', 40, 50) más próxima a dicha superficie (65, 650); aplicar vibración ultrasónica (V) por la superficie de salida (4e, 4e', 40e, 50e) del sonotrodo (4, 4', 40, 50), en donde la vibración ultrasónica (V) aplicada tiene una cierta amplitud de vibración; como una consecuencia de dicha vibración ultrasónica (V), generar una columna homogénea lineal (20) de solución de limpieza entre dicha superficie de salida (4e, 4e', 40e, 50e) del sonotrodo (4, 4', 40, 50) y dicha superficie (65, 650) y exponer a cavitación dicha superficie (65, 650) en contacto con dicha columna homogénea lineal (20) de solución de limpieza, eliminando así suciedad (70) de dicha superficie (65, 650).

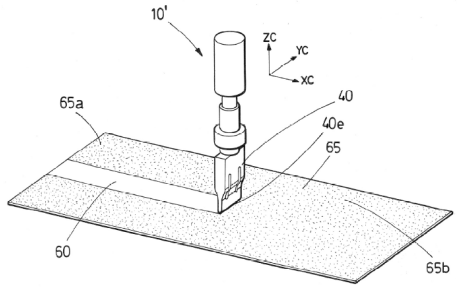

FIG.5

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

ES 2 708 149 B2

DESCRIPCIÓN

MÉTODO Y DISPOSITIVO PARA LIMPIEZA ULTRASÓNICA

CAMPO TÉCNICO

La presente invención se refiere al campo de la limpieza, tanto limpieza industrial como doméstica. Más precisamente, se refiere a métodos y sistemas para limpieza ultrasónica.

ESTADO DE LA TÉCNICA

Una limpieza ultrasónica es un proceso que usa ultrasonidos (normalmente entre 20 y 40 kHz) y un líquido apropiado para limpiar artículos. Los limpiadores ultrasónicos se usan para limpiar muchos tipos diferentes de objetos, incluyendo piezas ópticas, instrumentos quirúrgicos, herramientas, piezas industriales y equipo electrónico. La limpieza ultrasónica puede usarse para una amplia gama de formas, tamaños y materiales de la pieza de trabajo. En la limpieza ultrasónica, el objeto que hay que limpiar se sumerge en un tanque metálico que contiene una solución líquida (en un disolvente acuoso u orgánico, dependiendo de la aplicación). Un transductor generador de ultrasonidos construido dentro de la cámara, o introducido en el líquido, produce ondas ultrasónicas en el líquido cambiando de tamaño de acuerdo con una señal eléctrica que oscila a frecuencia ultrasónica. Estos elementos forman normalmente un circuito resonante. La señal eléctrica la produce una fuente eléctrica de alta frecuencia. La limpieza ultrasónica usa las burbujas de cavitación inducidas por las ondas de presión (sonido) de alta frecuencia para agitar el líquido. Durante la cavitación, las burbujas de gas colapsan con enorme energía, liberando intensas ondas de choque. Cuando las burbujas implosionan cerca de una superficie, tal como la superficie que hay que limpiar, puede tener lugar un colapso asimétrico, liberando fuertes chorros de agua. Ambos fenómenos contribuyen a eliminar la suciedad y a acelerar los procesos de disolución química. En otras palabras, la agitación produce elevadas fuerzas sobre los contaminantes que se adhieren a sustratos tales como metales, plásticos, vidrio, goma y cerámica. Como líquido apropiado pueden usarse agua o disolventes, dependiendo del tipo de contaminación y de la pieza de trabajo. El uso de un disolvente apropiado para el artículo que se va a limpiar y el tipo de suciedad presente normalmente mejoran el efecto de limpieza. Los contaminantes pueden incluir polvo, suciedad, aceite, pigmentos, óxido, grasa, algas, hongos, bacterias, escamas de cal, compuestos de pulido, agentes

decapantes, huellas, hollín, cera y agentes de desmoldeo, suciedad biológica como sangre, y otros similares.

Una importante limitación de los limpiadores ultrasónicos convencionales es que la pieza que hay que limpiar necesita estar completamente sumergida en el tanque que contiene el líquido. Por lo tanto, los limpiadores ultrasónicos convencionales son inviables para piezas o dispositivos de gran tamaño, o para estructuras no separables, tales como paneles de ventana de gran tamaño, fachadas de edificio, suelos, etc.

El documento JP H06 2183337 A divulga un dispositivo portátil para limpieza ultrasónica de una pieza que no requiere la completa inmersión de la pieza dentro de un tanque lleno con solución de limpieza. La limpieza se realiza mediante el soplado de agua con irradiación ultrasónica hacia el objeto que hay que limpiar. El agua está contenida en un depósito. Se forma un charco de agua entre el dispositivo ultrasónico y la superficie que hay que limpiar.

Por lo tanto es necesario desarrollar un método y un dispositivo nuevos para limpieza ultrasónica que supere los inconvenientes de los convencionales, es decir, que sean adecuados para limpieza ultrasónica de piezas o dispositivos de gran tamaño y para estructuras no separables.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

Es un objeto de la presente invención proporcionar un método y un dispositivo nuevos para limpieza ultrasónica que no requieran la inmersión de la pieza que hay que limpiar dentro de un tanque lleno con un líquido. Basándose en los mismos principios que la limpieza ultrasónica convencional, el método y el dispositivo logran retirar la suciedad de grandes superficies (tales como metales, ladrillos, tejas…) sin inmersión.

En un primer aspecto de la invención, se proporciona un método para limpieza ultrasónica de una pieza. El método comprende: aplicar una solución de limpieza sobre una superficie de una pieza que hay que limpiar; mover a lo largo de dicha superficie un dispositivo que comprende un sonotrodo, manteniendo una distancia entre dicha superficie y la superficie de salida del sonotrodo más próxima a dicha superficie; aplicar vibración ultrasónica en la superficie de salida del sonotrodo, en donde la vibración ultrasónica aplicada tiene una cierta amplitud de vibración; como consecuencia de dicha vibración ultrasónica, generar una columna homogénea lineal de solución de limpieza entre dicha superficie de salida del sonotrodo y dicha superficie y exponer a

cavitación dicha superficie en contacto con dicha columna homogénea lineal de solución de limpieza, eliminando así la suciedad de dicha superficie.

En una realización particular, la amplitud de vibración aplicada en la superficie de salida del sonotrodo depende de la amplitud de vibración en la superficie de entrada de dicho sonotrodo y de la relación entre la sección transversal de entrada del sonotrodo y la sección transversal de salida del sonotrodo.

La superficie de salida del sonotrodo está preferentemente curvada, estando definida la superficie de salida por un radio r, en donde r = w/2, siendo w el ancho de la sección transversal de salida del sonotrodo.

En una realización particular, la amplitud de vibración aplicada en la superficie de salida del sonotrodo no excede un umbral por encima del que dicha solución de limpieza se atomiza, siendo dependiente dicho umbral del tipo de solución de limpieza y de la frecuencia de trabajo.

En una realización particular, el dispositivo se mueve a lo largo de dicha superficie manteniendo una distancia sustancialmente constante entre dicha superficie y la superficie de salida del sonotrodo más próxima a dicha superficie.

En una realización particular, la solución de limpieza se aplica sobre la superficie que hay que limpiar previamente al inicio del funcionamiento del sonotrodo, de tal manera que se dispone una capa de solución de limpieza sobre dicha superficie.

En una realización alternativa, la solución de limpieza se aplica sobre la superficie que hay que limpiar cuando el sonotrodo se mueve a lo largo de dicha superficie que hay que limpiar, de tal manera que se dispone dicha columna homogénea lineal de solución de limpieza entre dicha superficie y la superficie de salida del sonotrodo. La solución de limpieza puede suministrarse externamente al sonotrodo por medio de una jeringa o una boquilla de rociado; o puede suministrarse internamente al sonotrodo a lo largo de un canal dispuesto dentro del sonotrodo, estando dicho canal diseñado para llevar la solución de limpieza a la superficie de salida del sonotrodo más próxima a la superficie que hay que limpiar.

La solución de limpieza puede reutilizarla el sonotrodo absorbiendo gotitas de suciedad, filtrando dichas gotitas de suciedad y suministrando gotitas filtradas mientras el sonotrodo se mueve hacia adelante sobre dicha superficie

que hay que limpiar.

En una realización particular, la solución de limpieza se selecciona entre el siguiente grupo: agua y soluciones acuosas que comprenden al menos un agente químico.

En un segundo aspecto de la invención, se proporciona un dispositivo para limpieza ultrasónica de una pieza con la ayuda de una solución de limpieza que debe disponerse sobre una superficie de la pieza. El dispositivo comprende: un oscilador de ondas ultrasónicas configurado para convertir una señal eléctrica estándar funcionando a 50-60 Hz en energía eléctrica funcionando a una frecuencia comprendida dentro de las frecuencias ultrasónicas; un convertidor ultrasónico para convertir en vibración mecánica dicha energía eléctrica proporcionada por el oscilador de ondas ultrasónicas; un sonotrodo ultrasónico acoplado a dicho convertidor ultrasónico y configurado para generar en su superficie de salida vibración ultrasónica que tiene cierta amplitud de vibración; en donde durante el uso del dispositivo, dicho sonotrodo está configurado para, como consecuencia de dicha vibración ultrasónica en su superficie de salida, generar una columna homogénea lineal de solución de limpieza entre dicha superficie de salida del sonotrodo y dicha superficie y para exponer a cavitación dicha superficie en contacto con dicha película homogénea lineal de solución de limpieza, eliminando así la suciedad de dicha superficie.

Ventajas y características adicionales de la invención serán evidentes a partir de la descripción detallada que sigue y se expondrán particularmente en las reivindicaciones adjuntas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para completar la descripción y para proporcionar una mejor comprensión de la invención, se proporciona un juego de dibujos. Dichos dibujos forman parte integral de la descripción e ilustran una realización de la invención, que no debería interpretarse como restrictiva del alcance de la invención, sino solamente como un ejemplo de cómo puede llevarse a cabo la invención. Los dibujos comprenden las siguientes figuras:

La figura 1 muestra un dispositivo para limpieza ultrasónica de acuerdo con una realización de la presente invención.

Las figuras 2(a), 2(b) y 2(c) muestran el comportamiento del agua bajo diferentes condiciones de trabajo durante el funcionamiento del método de

acuerdo con la invención.

La figura 3 muestra un sonotrodo o bocina de acuerdo con una realización particular de la invención.

La figura 4 muestra una vista detallada de la superficie de salida del sonotrodo de la figura 3. Se muestra también una sección transversal de salida.

La figura 5 muestra una bocina ultrasónica que es movida lo largo de la superficie de una pieza que hay que limpiar, de acuerdo con una realización del método para limpieza ultrasónica de la invención.

La figura 6 ilustra una bocina ultrasónica durante el funcionamiento del método para limpieza ultrasónica de acuerdo con la invención.

La figura 7 muestra un ladrillo, la mitad de cuya superficie se ha limpiado satisfactoriamente aplicando el método de la presente invención.

DESCRIPCIÓN DE UNA FORMA DE LLEVAR A CABO LA INVENCIÓN

En el presente texto, el término “comprende” y sus derivaciones (tales como “comprendiendo”, etc.) no deberían interpretarse en un sentido excluyente, es decir, estos términos no deberían interpretarse como excluyendo la posibilidad de que lo que se describe y define pueda incluir elementos, etapas, etc. adicionales.

En el contexto de la presente invención, el término “aproximadamente” y términos de su familia (tales como “aproximado”, etc.) deberían interpretarse como valores indicativos muy próximos a los que acompañan el término anteriormente mencionado. Es decir, debería aceptarse una desviación dentro de límites razonables respecto a un valor exacto, debido a que un experto en la materia entenderá que dicha desviación respecto a los valores indicados es inevitable debido a imprecisiones de medición, etc. Lo mismo se aplica a los términos “hacia” y “alrededor” y “sustancialmente”.

La descripción que sigue no ha de tomarse en un sentido limitativo sino que se da únicamente con la finalidad de describir los amplios principios de la invención. Las siguientes realizaciones de la invención se describirán a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos anteriormente mencionados que muestran aparatos y resultados de acuerdo con la invención.

La limpieza ultrasónica sin sumergir la pieza que hay que limpiar dentro de un tanque lleno de líquido puede llevarse a cabo usando el dispositivo 10 ilustrado en la figura 1. Se muestra también la pieza que hay que limpiar (la pieza 60). En la realización, la superficie 65 que hay que limpiar de la pieza 60

se ha representado como sustancialmente plana, pero la superficie 65 puede ser de curva simple; por ejemplo, un cilindro. Puede tener irregularidades, tales como cavidades, poros, etc. El dispositivo comprende un generador de ondas ultrasónicas 1 enchufado a una tensión de línea convencional (red eléctrica) 5. La tensión de línea 5 normalmente funciona a 50-60 Hz, dependiendo del país. El generador ultrasónico 1 convierte la señal eléctrica estándar funcionando a 50-60 Hz en energía eléctrica funcionando a frecuencia ultrasónica, es decir, por encima de 20.000 ciclos por segundo (20 kHz) aproximadamente. En otras palabras, el generador de ondas ultrasónicas 1 genera energía eléctrica de alta frecuencia (ultrasónica). La energía eléctrica proporcionada por el generador de ondas ultrasónicas 1 se convierte en un convertidor ultrasónico (también llamado transductor ultrasónico) 2 en vibración mecánica. Es una vibración armónica cuya frecuencia es la misma que la generada por el generador de ondas 1. La amplitud de la vibración (desplazamiento máximo) se relaciona con la potencia eléctrica, y puede amplificarse mecánicamente mediante otros componentes tales como intensificadores 3 o sonotrodos 4. Las características específicas de esta vibración mecánica se darán posteriormente en la presente descripción. El dispositivo 10 puede tener opcionalmente un intensificador 3 (también denominado amplificador 3). Se requiere un intensificador 3 en aplicaciones que requieren alta potencia (es decir, potencia más alta que la proporcionada por el generador de ondas ultrasónicas 1). De ese modo, en aplicaciones que requieren potencia más baja, puede eliminarse el intensificador 3. Cuando está presente, el intensificador 3 se conecta al convertidor ultrasónico 2. El intensificador 3 amplifica la vibración ultrasónica introducida desde el convertidor ultrasónico 2. El intensificador 3 también sirve como una montura para un sonotrodo o bocina 4.

El sonotrodo o bocina 4 se conecta al intensificador 3 y recibe la vibración ultrasónica desde el intensificador 3. En ausencia de intensificador, el sonotrodo 4 se conecta directamente al convertidor ultrasónico 2. El material del que se fabrica el sonotrodo 4 puede variar con los requisitos de potencia, lo que a su vez depende de la aplicación. Preferentemente, en aplicaciones que requieran baja potencia (por ejemplo, potencia < 400 W) el sonotrodo 4 puede fabricarse de aluminio, mientras que en aplicaciones que requieran alta potencia (por ejemplo, potencia > 400 W) el sonotrodo 4 puede fabricarse de titanio.

Se ilustra en la figura 3 una posible implementación de un sonotrodo 4. El sonotrodo o bocina ultrasónica 4 incluye una sección del extremo del lado de entrada o cuerpo principal 4a que tiene una superficie de entrada 4c que recibe la vibración ultrasónica desde el intensificador 3 (o desde el convertidor ultrasónico 2, según sea el caso), y una sección del extremo del lado de salida 4b que tiene una superficie de salida 4e (también denominada punta del sonotrodo) dispuesta separada de la superficie de entrada 4c una distancia correspondiente a la semi-longitud de onda (½λ) de la vibración ultrasónica que se introduce en la superficie de entrada 4c, y que produce la vibración ultrasónica para el líquido dispuesto sobre la superficie 65. La superficie de entrada 4c del cuerpo principal o sección del extremo del lado de entrada 41 tienen un ancho W y una longitud L determinados. La sección del extremo del lado de salida 4b es un cuerpo más delgado 42 que tiene un cierto ancho w, en donde w < W, y la misma longitud L. Los inventores han observado sorprendentemente que la vibración ultrasónica de salida, cuando está en contacto con líquidos dispuestos sobre una superficie, hace que el líquido cavite a alta frecuencia, eliminando así la suciedad de la superficie 65 de la pieza 60 sobre la que se aplica el líquido. La vibración ultrasónica que se introduce en el sonotrodo ultrasónico 4 son ondas longitudinales en una dirección perpendicular a la superficie de salida 4e. El sonotrodo 4 tiene también al menos una abertura ranurada que se extiende a través del sonotrodo. Preferentemente tiene dos aberturas ranuradas 43, 44. En una realización particular, las aberturas ranuradas 43, 44 se extienden desde la sección del extremo del lado de entrada 41 a la sección del extremo del lado de salida 42. Se usan preferentemente dos aberturas 43, 44 debido a que contribuyen a conseguir una vibración homogénea y, por lo tanto, a conseguir una limpieza homogénea. Para que el sonotrodo 4 sea capaz de limpiar una superficie, el diseño (geometría) de la superficie de salida 4e del sonotrodo 4, junto con la amplitud de vibración proporcionada por el sonotrodo, desempeñan un papel importante. La superficie de salida 4e está preferentemente curvada (forma de arco).

Para limpiar la superficie 65, debe haber una interfaz líquida (gota líquida) entre la superficie 65 y la punta del sonotrodo 4e. Es bien conocido que la vibración ultrasónica reduce la tensión superficial del líquido, lo que incrementa la superficie de contacto entre el líquido (solución de limpieza) y el sólido

(sonotrodo 4 y superficie 65). Si la superficie de contacto aumenta, la interfaz líquida será capaz de retener un volumen de líquido mayor. Cuanto mayor sea la amplitud de la vibración, más superficie de contacto tendrá y de ese modo, se retendrá un volumen de solución de limpieza más alto. Para recoger tanto volumen líquido como sea posible entre la punta del sonotrodo 4e y la superficie 65, es deseable que la punta del sonotrodo 4e tenga tanta superficie de salida como sea posible. Por lo tanto, aunque la punta del sonotrodo pueda tener forma plana en una realización posible, en una realización preferida la punta de sonotrodo (superficie de salida 4e) se elige para que tenga forma de arco, es decir, curvada, como se destaca en la figura 4. En otras palabras, la punta del sonotrodo tiene preferentemente la forma de medio cilindro que tiene la longitud L y el radio r. Hay dos razones principales para esta superficie de salida curvada 4. Por un lado, incrementa incluso más la superficie de contacto entre el líquido y el sonotrodo. Realmente, un semicilindro (mitad de un cilindro) da la relación óptima entre perímetro y superficie. Por otro lado, permite al usuario inclinar el equipo sin cambiar la distancia relativa entre la punta del sonotrodo 4e y la superficie que hay que limpiar. Son posibles otras formas de la punta de sonotrodo, siendo las preferidas aquellas que tienen una gran superficie.

Para una frecuencia dada, dependiendo del líquido que se va a disponer entre la punta del sonotrodo y la superficie que hay que limpiar, hay un valor de umbral crítico para el que la amplitud de vibración es tan alta que la gota de líquido se vuelve inestable y queda atomizada. Este umbral depende de las propiedades físicas del líquido. En particular, depende de la densidad, la viscosidad y la tensión superficial del líquido. Por ejemplo, en el caso de que la solución de limpieza sea agua del grifo, y dada una frecuencia de 20 kHz, este umbral crítico es de 11 µm. En otro ejemplo, en el caso de acetona (solución de limpieza), y dada la frecuencia de 20 kHz, este umbral crítico está por debajo de 3 µm. La amplitud de vibración por encima de la cual se atomiza la gota de líquido, depende también de la frecuencia aplicada. En particular, el umbral crítico (umbral por encima del que la gota se atomiza) disminuye con el cuadrado de la frecuencia. Por ejemplo, si la frecuencia varía de 20 kHz a 40 kHz (esto es, x2), el umbral de la amplitud de vibración se divide por 2^2. En general, si la frecuencia se multiplica por N (xN), el umbral de amplitud de vibración se divide por 2^N.

Estos fenómenos se ilustran en las figuras 2(a-c). La figura 2(a) muestra una situación en la que no se aplican ultrasonidos (US) mediante el sonotrodo 4’ a la capa de líquido (solución de limpieza) dispuesta por debajo de él. En este caso, las gotas de líquido convencional pueden adherirse a la superficie de salida 4e’ del sonotrodo 4’. La figura 2(b) muestra una situación en la que el sonotrodo 4’ (y la vibración ultrasónica que produce) ha conseguido reducir la tensión sobre el líquido por debajo de él sin atomizarlo. Cuando ocurre esto, el líquido tiende a “pegarse” a la superficie de salida del sonotrodo 4e’ (en otras palabras, el líquido es atraído hacia la superficie de salida 4e’), generando una gran gota de líquido homogéneo lineal 20 (también denominada columna homogénea lineal o columna estática de líquido 20). Cuanto mayor sea la superficie de salida 4e’ del sonotrodo 4, mayor cantidad de líquido formará la columna estática de líquido 20. Cualquier objeto físico que se ponga en contacto con esta gota 20 se expondrá a una cavitación muy intensa y, por lo tanto, se limpiará. Si hay un movimiento relativo (tal como un movimiento de barrido) entre la gota 20 y el objeto poroso sucio, la gota 20 perderá parte de su contenido, que permanecerá dentro de los poros. Para evitar este problema, la superficie porosa que hay que limpiar debe humedecerse previamente. Finalmente, la figura 2(c) muestra una situación en la que la vibración ultrasónica producida por el sonotrodo 4’ ha atomizado el líquido dispuesto por debajo de la superficie de salida 4e’ del sonotrodo. La superficie sucia, por lo tanto, no se limpia. En los ejemplos de las figuras 2(a-c), el líquido es agua del grifo. Como ya se ha mencionado, el umbral crítico de la amplitud de vibración aplicada por la superficie de salida 4e’ del sonotrodo 4’ a la que el agua del grifo no se atomiza es de 11 μm dada una frecuencia de 20 kHz. Esto es por lo que el efecto deseado (figura 2(b)) sucede cuando dicha amplitud de vibración es igual o inferior a 11 μm, mientras que el efecto indeseado (figura 2(c)) sucede cuando dicha amplitud de vibración está por encima de 11 μm.

Con referencia ahora a las figuras 3 y 4, la amplitud de la vibración aplicada en la superficie de salida 4e del sonotrodo 4 cuando está en uso, depende de la amplitud de la vibración en la superficie de entrada 4c (proporcionada por el convertidor) y de la relación entre la sección transversal de entrada y la sección transversal de salida 4f del sonotrodo 4. La superficie de entrada 4c es plana, y de ese modo coincide con la sección transversal de entrada. La sección transversal de entrada 4c sigue la fórmula L x W. En

cualquier caso, en la realización preferida ilustrada en las figuras 3 y 4, la superficie de salida 4e tiene forma de arco (sigue la forma de un semicilindro (medio cilindro), y por ello no coincide con una sección transversal de salida 4f. La sección transversal de salida 4f sigue la fórmula w x L. La superficie de salida 4e sigue la fórmula π x r x L, en la que “r” es el radio de un cilindro que tiene la longitud L. Cabe señalar que la punta del sonotrodo (superficie de salida 4e) no comprende el área de las dos bases del semicilindro, sino solo el área lateral definida por la mitad de un cilindro. La figura 4 muestra la diferencia entre la superficie de salida 4e y la sección transversal de salida 4f. Debido a que la sección de salida 4e es un semicilindro, su radio se determina por el ancho w de la sección transversal: r = w/2. Por lo tanto, la sección transversal de salida 4f sigue la fórmula 2 x r x L.

Como ya se ha explicado, los inventores han observado que la amplitud de vibración aplicada en la superficie de salida 4e del sonotrodo 4 es muy importante, dado que para cada solución de limpieza que puede usarse hay un umbral crítico o valor máximo de esta amplitud de vibración, de tal manera que si la amplitud de vibración aplicada excede el umbral asociado a cada solución de limpieza, la solución de limpieza se atomizará (figura 2(c)) en lugar de formar una gota líquida homogénea lineal 20 o columna estática de líquido 20 (figura 2(b)). Los inventores han observado también que cuando la amplitud de vibración no excede dicho umbral crítico, cuanto mayor sea la superficie de salida 4e del sonotrodo 4, mayor cantidad de columna de líquido estático se mantiene entre la superficie salida 4e y la superficie que hay que limpiar.

Para conseguir el efecto deseado (figura 2(b)), la punta del sonotrodo 4e, 4e’ tiene preferentemente una forma semicilíndrica (mitad de un cilindro) de superficie π x r x L = π x w x L/2, siendo la sección transversal de salida 4f correspondiente w x L = 2 x r x L, de modo que, en condiciones de potencia nominal y teniendo en cuenta el área W x L de la superficie de entrada 4c, la amplitud de vibración producida por la superficie de salida 4e durante el uso del sonotrodo no excede la amplitud crítica para el líquido que se está usando (11 µm en el caso de agua del grifo a 20 kHz). Cada convertidor 2 (figura 1) tiene una potencia eléctrica nominal que asegura una amplitud de vibración dada. El sonotrodo 4, 4’ amplifica esta vibración proporcionalmente a la relación entre su sección transversal de entrada 4c y su sección transversal de salida 4f. Por ejemplo, suponiendo que la solución de limpieza es agua, si en condiciones de

potencia nominal un convertidor da una amplitud de vibración de 5,5 micras (5,5 μm) y la frecuencia es 20 kHz, la relación entre las secciones de entrada y de salida del sonotrodo no deben superar 2, ya que en caso contrario la superficie de salida del sonotrodo 4e, 4e' proporcionará una amplitud de vibración mayor de 11 micras (11 μm) y por lo tanto, el agua se atomizará.

Es decir, dada una cierta solución de limpieza (que tiene propiedades físicas específicas) y dados el ancho W de la sección transversal de entrada 4c del sonotrodo y el ancho w de la sección transversal de salida 4f del sonotrodo (que, en el caso particular en el que la punta del sonotrodo tiene forma de arco, su radio r sigue la expresión r = 2 x w), hay un umbral de amplitud de vibración por encima del que la vibración ultrasónica producida por el sonotrodo 4, 4' en su salida produce la atomización del líquido dispuesto por debajo de la superficie de salida 4e, 4e' del sonotrodo. En consecuencia, la superficie sucia no se limpia. Por otro lado, es aconsejable trabajar con una amplitud de vibración próxima a dicho umbral (pero por debajo de él), debido a que si la amplitud de vibración es mucho más baja que el umbral, se reducirá la capacidad de limpieza. En suma, dependiendo de la potencia de salida del transductor 2, la solución de limpieza y el ancho W de la sección transversal, hay un radio de sonotrodo óptimo que retiene el máximo volumen de solución de limpieza sin atomizarla.

La superficie 65 que hay que limpiar puede ser una superficie de curvatura sustancialmente simple (lineal, cilíndrica, parabólica…) de modo que pueda limpiarse mediante un movimiento de barrido. La superficie 65 debe ser sólida. Esta superficie puede tener irregularidades geométricas, tal como grietas, cavidades, poros o cualquier otra irregularidad, tal como un patrón ornamental. Para limpiarla adecuadamente, la altura o la profundidad de la irregularidad es preferentemente más pequeña que la altura del volumen de líquido retenido (columna 20), como se muestra por ejemplo en la figura 2(b).

El uso del dispositivo 10' para la limpieza ultrasónica de una pieza 60 es como sigue: el dispositivo 10' es barrido a lo largo de la superficie 65 de la pieza 60 que hay que limpiar, como se ilustra en la figura 5. Esta operación puede realizarse tanto manualmente como por medio de dispositivos automáticos tales como manipuladores robóticos. Para evitar daños (tales como rayados) sobre la punta del sonotrodo y/o sobre la superficie que hay que limpiar, debe evitarse preferentemente el contacto físico entre la superficie 65 y

la punta del sonotrodo 4e. Este problema afecta especialmente al uso manual. Por lo tanto, el dispositivo 10' incluye preferentemente medios mecánicos, tales como ruedas, para mantener una cierta holgura entre la punta 40e del sonotrodo 40 y la solución de limpieza dispuesta sobre la superficie 65 que hay que limpiar. Dichos medios mecánicos están recomendados especialmente durante el movimiento de barrido manual. La figura 6, que se describirá en detalle a continuación, muestra la distancia de barrido D entre la punta del sonotrodo 50e y la superficie 650 que hay que limpiar durante el barrido del dispositivo 100. La distancia máxima ($D_{máx}$) desde la superficie 650 a la que el sonotrodo 50 puede barrer se determina por la gota o columna más grande obtenible de solución de limpieza. La distancia máxima ($D_{máx}$) se determina por lo tanto por el volumen máximo (cantidad) de líquido que puede retenerse entre la punta del sonotrodo 50e y la superficie. En otras palabras, depende del tamaño (longitud) de la columna estática de líquido. Si la distancia D está por encima del valor máximo ($D_{máx}$), no hay ya contacto entre la gota contenida entre la punta del sonotrodo 50e y la superficie húmeda 650 y por lo tanto la columna estática se rompe. El máximo volumen de líquido retenido depende del tipo de solución de limpieza (que tiene propiedades físicas específicas), del material del sonotrodo y de la superficie salida 4e del sonotrodo (en la realización particular en la que la superficie de salida 4e viene dada por la mitad un cilindro, el volumen máximo de líquido retenido depende del radio r y de la longitud L). En un ejemplo particular, en el que se usa un sonotrodo fabricado de aluminio y el sonotrodo tiene una superficie de salida 4e semicilíndrica que tiene un radio = 5 mm y una longitud L = 100 mm, se ha observado que si la distancia D supera los 5 mm, que es realmente la gota de agua o columna de agua más grande obtenible (véase la columna 20 en la figura 2(b)) bajo estas circunstancias, no hay ya contacto entre la gota contenida entre la punta del sonotrodo 50e y la superficie húmeda 650; no tendrá lugar la limpieza. En otras palabras, la columna estática se rompe. En un ejemplo particular, la distancia D se selecciona para que sea de 3 mm para no trabajar en condiciones límite.

Con referencia tanto a la figura 5 como a la 6, entre la superficie 65, 650 de la pieza 60, 600 y el sonotrodo 40, 50, se aplica una capa de líquido o una película de líquido (solución de limpieza) (no visible en la figura 5). La vibración ultrasónica aplicada por el sonotrodo 40, 50 hace que la solución de limpieza

cavite, liberando fuertes ondas de choque y chorros de agua sobre la superficie 65, 650. Tanto las ondas de choque como los chorros de agua eliminan partículas de suciedad (arena, tierra, polvo, moho, lodo…) y aceleran las disoluciones (pintura, aceite, grasa…). La cavitación puede penetrar en poros, grietas, cavidades o cualquier otro patrón presente sobre la superficie 65, 650 que hay que limpiar. En otras palabras, la potencia de cavitación ultrasónica se concentra sobre la capa delgada de líquido (solución de limpieza) cuando el sonotrodo 40, 50 aplica vibración ultrasónica a la solución de limpieza. Ejemplos no limitativos de soluciones de limpieza que pueden usarse son agua (tal como agua del grifo) y soluciones acuosas que comprenden agentes químicos, tales como detergente, acetona y alcohol. La distancia D entre la superficie de salida 40e, 50e de la sección extrema del lado de salida del sonotrodo 40, 50, más próxima a la superficie 65, 650 que hay que limpiar, es preferentemente mayor que el grosor de la capa de solución de limpieza. Es decir, la superficie de salida 40e, 50e del sonotrodo 40, 50 preferentemente no está en contacto constante con la solución de limpieza. Esta distancia D, ilustrada en la figura 6, entre la superficie de salida 50e del sonotrodo 50 y la superficie 650 que hay que limpiar se mantiene preferentemente constante a lo largo del proceso de barrido.

La aplicación de una solución de limpieza a la superficie 65, 650 que hay que limpiar puede realizarse de diferentes formas. En una realización particular, previamente al movimiento o al barrido del sonotrodo 40, 50 sobre la superficie 65, 650 que hay que limpiar, se aplica una capa de solución de limpieza sobre esa superficie, de tal manera que sustancialmente toda la superficie 65, 650 que hay que limpiar esté cubierta de una capa de líquido. Para trabajar de esta forma, es necesario un impulso inicial (una única gota de líquido). Si se activa la vibración ultrasónica, cuando la gota toca tanto la capa de líquido como la punta del sonotrodo, se generará una columna estática de líquido (una gota lineal grande, como la ilustrada en la figura 2(b)). No importa si hay un movimiento relativo entre el sonotrodo y la capa de líquido debido a que la tensión superficial de la columna de líquido es tan baja que tiende a “pegarse” a ambos elementos. En otras palabras, una vez se forma la columna, seguirá el movimiento de barrido del sonotrodo. Otra forma de generar esta columna de líquido es mediante el movimiento hacia abajo del sonotrodo hasta que se pone en contacto con la capa de líquido.

Como ya se ha mencionado, el sonotrodo 4, 40, 50 (de hecho, todo el dispositivo 10, 10', 100) se mueve sobre la superficie 65, 650, barriendo la superficie desde un primer extremo 65a al extremo opuesto 65b, a lo largo de la longitud de la superficie 65, 650 que hay que limpiar, tal como se representa en la figura 5. Si la superficie que hay que limpiar es más ancha que el ancho de sonotrodo, será necesario barrer el dispositivo 10, 10', 100 a lo largo de la superficie 65, 650 tantas veces como se requiera para que el sonotrodo 40, 50 aplique vibración ultrasónica sobre el agua dispuesta sobre toda la superficie que hay que limpiar.

En otra realización particular, no se aplica una capa de solución de limpieza cubriendo toda la superficie que hay que limpiar previamente al barrido del sonotrodo 4, 40, 50 sobre la superficie 65, 650 que hay que limpiar. En su lugar, la columna de líquido mencionada se regenera constantemente. En esta realización, puede proporcionarse una solución de limpieza externamente al sonotrodo 4, 40, 50 por ejemplo por medio de una jeringa o una boquilla de rociado. Alternativamente, la solución de limpieza puede proporcionarse internamente al sonotrodo 4, 40, 50 por ejemplo a lo largo de un canal dispuesto dentro de sonotrodo, diseñado para llevar agua a la sección extrema del lado de salida 4b del sonotrodo 4, 40, 50 y más preferentemente, a la superficie de salida 4e, 40e del sonotrodo 4, 40, 50.

La figura 6 ilustra el funcionamiento de un dispositivo 100 para limpieza ultrasónica de acuerdo con la invención. El generador de ondas ultrasónicas y el intensificador no se muestran en la figura 6. La pieza 600 que hay que limpiar también se muestra. En la figura 6, la flecha M representa el movimiento de barrido del dispositivo 100. La superficie 650 de la pieza 600 que hay que limpiar se limpia mientras el dispositivo 100 se mueve hacia adelante. Se muestra la suciedad 70 sobre la superficie 650 que no se ha limpiado todavía. La figura 6 se refiere a una realización en la que no se ha dispuesto una capa de solución de limpieza sobre la superficie 650 que hay que limpiar previamente al movimiento de sonotrodo 50. En su lugar, se proporciona una solución de limpieza a la superficie 650 según se mueve el sonotrodo 50 hacia adelante. La flecha A1 representa la dirección de las gotitas 80 de solución de limpieza que se suministran mientras se mueve el dispositivo 100. Cuando las gotitas de solución de limpieza 80 entran en contacto con la superficie de salida 50e del sonotrodo 50, tiene lugar la vibración ultrasónica V, como consecuencia

de lo cual se elimina la suciedad de la superficie 650 de la pieza 600. La flecha A2 representa la dirección de las gotitas sucias 71 que son absorbidas por un dispositivo de vacío externo mientras el sonotrodo 50 se mueve hacia adelante. En una realización particular, en la que la solución de limpieza es agua, el agua sucia 71 puede filtrarse en el dispositivo 100, lo que proporciona continuamente agua filtrada 80, reutilizando así el agua. El mismo sistema podría usarse para cualquier clase de solución de limpieza. En este caso, la flecha A3 representa esquemáticamente la dirección del agua sucia (o solución de limpieza, en general), que se filtra para ser reutilizada. En una realización particular, el agua sucia 71 se realimenta y filtra por medio de un sistema hidráulico que incluye un filtrado de partículas (no mostrado). En otras palabras, en esta realización, la capa de agua se regenera constantemente gracias a los medios de filtrado. De esta forma, la única agua consumida por el dispositivo 100 es el agua que permanece sobre la superficie limpia, por ejemplo sobre los poros, si hay alguno, dispuestos sobre la superficie 650 de la pieza 600. El consumo de agua es muy bajo (justamente la cantidad necesaria para humedecer la superficie 650 que hay que limpiar).

A continuación se divulga un ejemplo.

Un convertidor ultrasónico funciona a 20 kHz y proporciona vibración que tiene una altitud de 20 micras (20 μm) a su potencia nominal (1200 W). Esta amplitud de salida es demasiado elevada para la aplicación de limpieza. Por lo tanto, se ha reducido al 20 % de la potencia nominal (4 μm de vibración de salida). Se usa un sonotrodo que tiene una sección transversal de entrada de 30 x 100 mm^2 (W x L). El sonotrodo tiene una superficie de salida curvada, que tiene una forma semicilíndrica definida por un radio r = 5 mm y una longitud L = 100 mm. La sección transversal de salida es por lo tanto 2 x r x L = 10 x 100 mm^2. Si dividimos ambos valores, la relación es 3, lo que significa que este sonotrodo incrementará la amplitud de entrada (4 μm) por 3, obteniendo de esta forma 12 μm. Este valor es 1 μm más elevado que la amplitud de vibración máxima para el agua del grifo. Sin embargo, debido a la amortiguación mecánica, se vuelve ligeramente menor, satisfaciendo perfectamente por lo tanto el valor óptimo de 11 μm sin atomización. Si se activa la vibración y se vierte agua sobre la punta del sonotrodo, se genera una gota de agua lineal. El dispositivo se barre sobre la superficie que hay que limpiar a una distancia sustancialmente constante D = 3 mm. Cuando esta gota de agua se pone en

contacto con una superficie sucia (un ladrillo en este caso, figura 7), la limpia profundamente, pero solo sobre la superficie por debajo de la punta de sonotrodo (100 mm x 10 mm). Para limpiar toda la superficie de ladrillo, el sistema barre, en este caso, a una velocidad de 10 m/min.

En conclusión, el método y el dispositivo propuestos permiten limpiar piezas de cualquier tamaño usando técnicas ultrasónicas, sin sumergir la pieza en un tanque lleno de agua. El método y el dispositivo están indicados para la limpieza ultrasónica de piezas que tienen sustancialmente superficies tanto planas como de una única curva, teniendo irregularidades geométricas, tales como grietas, cavidades, poros o patrones. Ejemplos no limitativos de aplicaciones de la invención son la limpieza de paredes que tienen grafiti y limpieza de ladrillos o tejas. Entre las ventajas de la invención, está que no se requiere contacto físico entre el sonotrodo y la pieza que hay que limpiar. Además, la capa usada de solución de limpieza puede filtrarse y reutilizarse constantemente. De hecho, sobre superficies impermeables, tales como vidrio o metal, cuando se genera una capa estática de líquido, el consumo de líquido es prácticamente cero debido a que puede filtrarse y reutilizarse constantemente. Las ondas ultrasónicas penetran en poros, grietas o cavidades pequeñas de la superficie que hay que limpiar. Puede usarse solamente con agua o con una solución acuosa que incluye agentes químicos. En este último caso, la cavitación ultrasónica acelera drásticamente las reacciones químicas, disolviendo la suciedad adherida a la superficie que hay que limpiar. El método y el dispositivo pueden aplicarse para tareas de limpieza tanto industriales como domésticas.

Por otro lado, la invención no está limitada obviamente a la(s) realización(es) especifica(s) descrita(s) en el presente documento, sino que engloba cualesquiera variaciones que pueda considerar cualquier experto en la materia (por ejemplo, con relación a la elección de materiales, dimensiones, componentes, configuración, etc.), dentro del alcance general de la invención tal como se define en las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método para limpieza ultrasónica de una pieza (60, 600) que no requiere la inmersión de la pieza (60, 600) dentro de un tanque con líquido, estando el método caracterizado por que comprende:

- aplicar una solución de limpieza sobre una superficie (65, 650) de una pieza (60, 600) que hay que limpiar;

- mover (M) un dispositivo (10, 10’, 100) que comprende un generador de ondas ultrasónicas (1), un convertidor ultrasónico (2) y un sonotrodo (4, 4’, 40, 50) a lo largo de dicha superficie (65, 650), manteniendo una distancia (D) entre dicha superficie (65, 650) y la superficie de salida (4e, 4e’, 40e, 50e) del sonotrodo (4, 4’, 40, 50) más próxima a dicha superficie (65, 650), donde el sonotrodo (4, 4’, 40, 50) tiene una sección de entrada (4c) definida por el producto de su longitud (L) y su anchura (W), y una sección de salida (4f) definida por el producto de su longitud (L) y su anchura (w), donde la anchura (w) de la sección de salida (4f) es menor que la anchura (W) de la sección de entrada (4c), donde el sonotrodo (4, 4’, 40, 50) comprende dos aberturas ranuradas (43, 44) que se extienden por el sonotrodo (4, 4’, 40, 50) desde su extremo más próximo al convertidor ultrasónico (2) hasta su extremo más próximo a la superficie (65, 650) a limpiar, donde la superficie de salida del sonotrodo (4, 4’, 40, 50) es curvada y se define por un radio r, en el que r = w/2, siendo w la anchura de la sección de salida (4f) del sonotrodo (4, 4’, 40, 50);

- aplicar vibración ultrasónica (V) en la superficie de salida (4e, 4e’, 40e, 50e) del sonotrodo (4, 4’, 40, 50), en donde la vibración ultrasónica (V) tiene una cierta amplitud de vibración;

- generar una columna homogénea lineal (20) de solución de limpieza entre dicha superficie de salida (4e, 4e’, 40e, 50e) del sonotrodo (4, 4’, 40, 50), estando curvada dicha superficie de salida (4e, 40e) del sonotrodo (4, 4’, 40, 50), y dicha superficie (65, 650) mediante la aplicación de una gota de solución de limpieza tanto a la solución de limpieza sobre dicha superficie (65, 650) como a la punta del sonotrodo, o bien moviendo hacia abajo el sonotrodo (4, 4’, 40, 50) hasta que se pone en contacto con la solución de limpieza sobre dicha superficie (65, 650), y exponer a cavitación dicha superficie (65, 650) en contacto con dicha columna homogénea lineal (20) de solución de limpieza, eliminando así la suciedad (70) de dicha superficie (65, 650).

2. El método de la reivindicación 1 en el que dicha amplitud de vibración aplicada en la superficie de salida (4e, 4e', 40e, 50e) del sonotrodo (4, 4', 40, 50) depende de la amplitud de vibración en la superficie de entrada (4c) de dicho sonotrodo (4, 4', 40, 50) y de la relación entre la sección transversal de entrada (4c) del sonotrodo (4, 4', 40, 50) y la sección transversal de salida (4f) del sonotrodo (4, 4', 40, 50).

3. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que dicha amplitud de vibración aplicada en la superficie de salida (4e, 4e', 40e, 50e) del sonotrodo (4, 4', 40, 50) no excede de un umbral por encima del cual dicha solución de limpieza se atomiza, siendo dependiente dicho umbral del tipo de solución de limpieza y de la frecuencia de trabajo.

4. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que dicho dispositivo (10, 100) se mueve a lo largo de dicha superficie (65, 650) manteniendo una distancia (D) sustancialmente constante entre dicha superficie (65, 650) y la superficie de salida (4e, 40e) del sonotrodo (4, 40) más próxima a dicha superficie (65, 650).

5. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que dicha solución de limpieza se aplica sobre la superficie (65, 650) que hay que limpiar previamente al inicio del funcionamiento del sonotrodo (4, 4', 40, 50), de tal manera que se dispone una capa de solución de limpieza sobre dicha superficie (65, 650).

6. El método de cualquier reivindicación anterior desde la 1 a la 4, en el que dicha solución de limpieza se aplica sobre la superficie (65, 650) que hay que limpiar según se mueve el sonotrodo (4, 4', 40, 50) a lo largo de dicha superficie (65, 650) que hay que limpiar, de tal manera que dicha columna homogénea lineal (20) de solución de limpieza se dispone entre dicha superficie (65, 650) y la superficie de salida (4e, 4e', 40e, 50e) del sonotrodo (4, 4', 40, 50).

7. El método de la reivindicación 6, en el que dicha solución de limpieza se

suministra externamente al sonotrodo (4, 4’, 40, 50) por medio de una jeringa o una boquilla de rociado.

8. El método de la reivindicación 6, en el que dicha solución de limpieza se suministra internamente al sonotrodo (4, 4’, 40, 50) por medio de un canal dispuesto dentro del sonotrodo (4, 4’, 40, 50), diseñándose dicho canal para llevar la solución de limpieza a la superficie de salida (4e, 4e’, 40e, 50e) del sonotrodo (4, 4’, 40, 50) lo más próximo a la superficie (65, 650) que hay que limpiar.

9. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores desde la 6 a la 8, en el que dicha solución de limpieza es reutilizada por el sonotrodo (50) absorbiendo (A2) gotitas sucias (71), filtrando (A3) dichas gotitas sucias y suministrando (A1) gotitas filtradas (80) mientras el sonotrodo (50) se mueve hacia adelante sobre dicha superficie (65, 650) que hay que limpiar.

10. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que dicha solución de limpieza se selecciona de entre el siguiente grupo: agua y soluciones acuosas que comprenden al menos un agente químico.

11. Un dispositivo (10, 10’, 100) para limpieza ultrasónica de una pieza (60, 600) sin necesidad de introducir la pieza (60, 600) dentro de un tanque con líquido, con la ayuda de una solución de limpieza a ser dispuesta sobre una superficie (65, 650) de dicha pieza (60, 600), comprendiendo dicho dispositivo (10, 10’, 100):

- un oscilador de ondas ultrasónicas (1) configurado para convertir una señal eléctrica estándar funcionando a 50-60 Hz en energía eléctrica funcionando a una frecuencia comprendida dentro de las frecuencias ultrasónicas;
- un convertidor ultrasónico (2, 20) para convertir dicha energía eléctrica proporcionada por el oscilador de ondas ultrasónicas (1) en vibración mecánica;
- un sonotrodo ultrasónico (4, 4’, 40, 50) acoplado a dicho convertidor ultrasónico (2, 20) y configurado para generar en su superficie de salida (4e, 4e’, 40e, 50e) vibraciones ultrasónicas (V) que tienen una cierta amplitud de

vibración, en donde la superficie de salida (4e, 40e) del sonotrodo (4, 4’, 40, 50) está curvada;
estando el dispositivo (10, 10’, 100) caracterizado por que el sonotrodo (4, 4’, 40, 50) tiene una sección de entrada (4c) definida por el producto de su longitud (L) y su anchura (W), y una sección de salida (4f) definida por el producto de su longitud (L) y su anchura (w), donde la anchura (w) de la sección de salida (4f) es menor que la anchura (W) de la sección de entrada (4c), donde el sonotrodo (4, 4’, 40, 50) comprende dos aberturas ranuradas (43, 44) que se extienden por el sonotrodo (4, 4’, 40, 50) desde su extremo más próximo al convertidor ultrasónico (2) hasta su extremo más próximo a la superficie (65, 650) a limpiar, donde la superficie de salida del sonotrodo (4, 4’, 40, 50) se define por un radio r, en el que r = w/2, siendo w la anchura de la sección de salida (4f) del sonotrodo (4, 4’, 40, 50);

en el que durante el uso del dispositivo (10, 10’, 100), dicho sonotrodo (4, 4’, 40, 50) está configurado para generar una columna homogénea lineal de solución de limpieza entre dicha superficie de salida (4e, 4e’, 40e, 50e) del sonotrodo (4, 4’, 40, 50) y dicha superficie (65, 650) mediante o bien la aplicación de una gota de solución de limpieza tanto a la solución de limpieza sobre dicha superficie (65, 650) como a la punta del sonotrodo o bien moviendo hacia abajo el sonotrodo (4, 4’, 40, 50) hasta que se pone en contacto con la solución de limpieza sobre dicha superficie (65, 650), y exponer a cavitación dicha superficie (65, 650) en contacto con dicha película homogénea lineal de solución de limpieza, eliminando así la suciedad (70) de dicha superficie (65, 650).

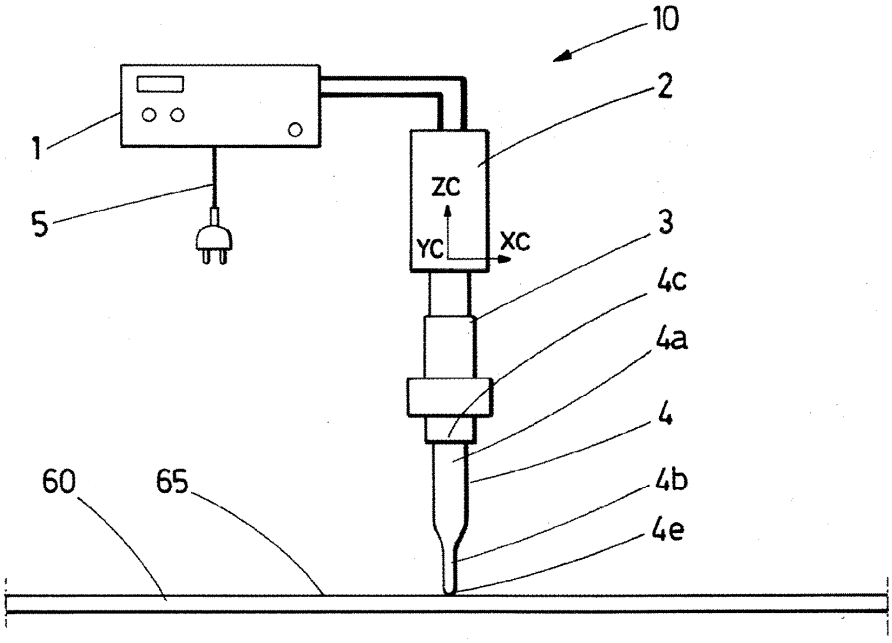

FIG.1

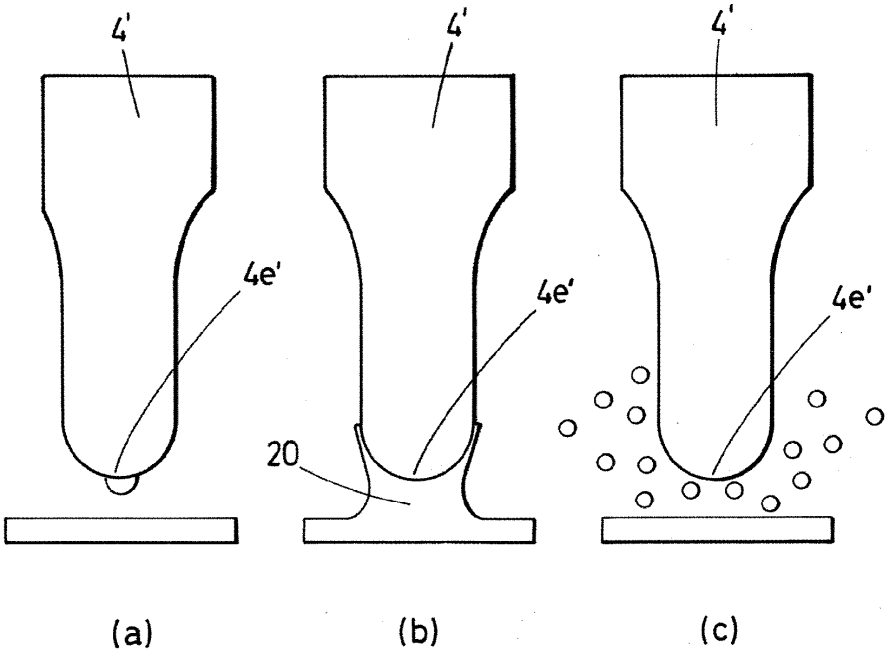

FIG.2

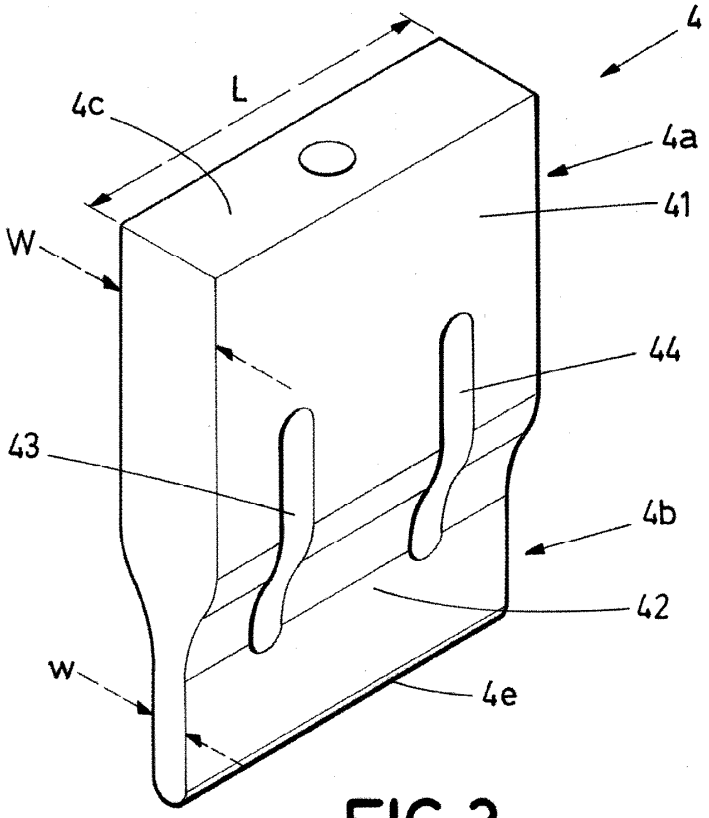

FIG.3

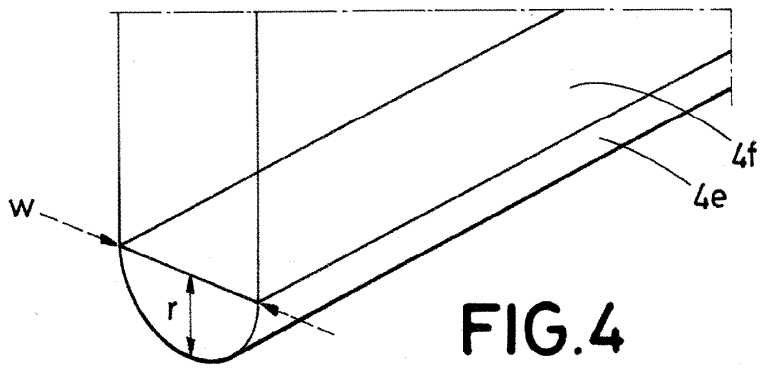

FIG.4

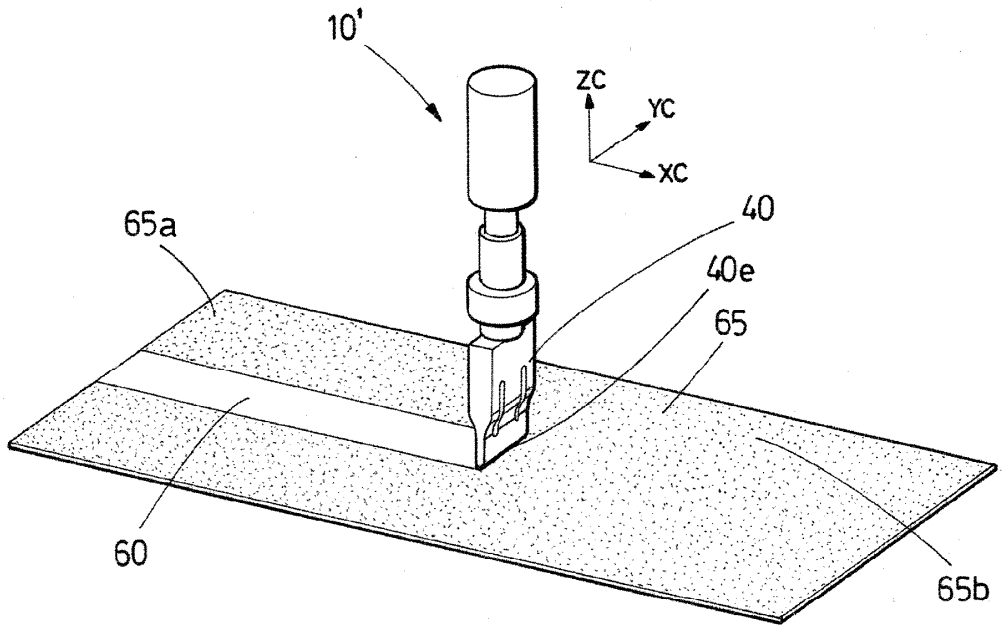

FIG.5

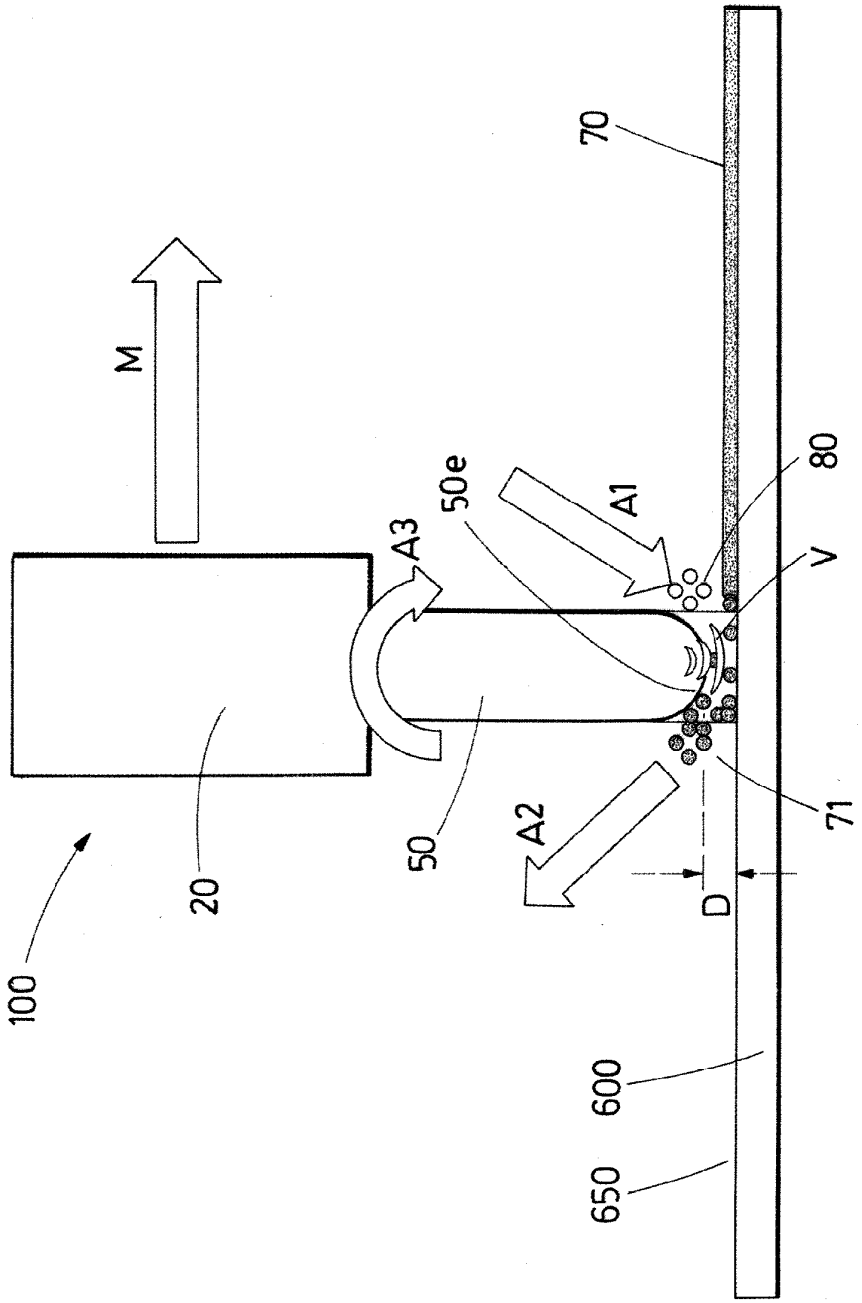

FIG.6

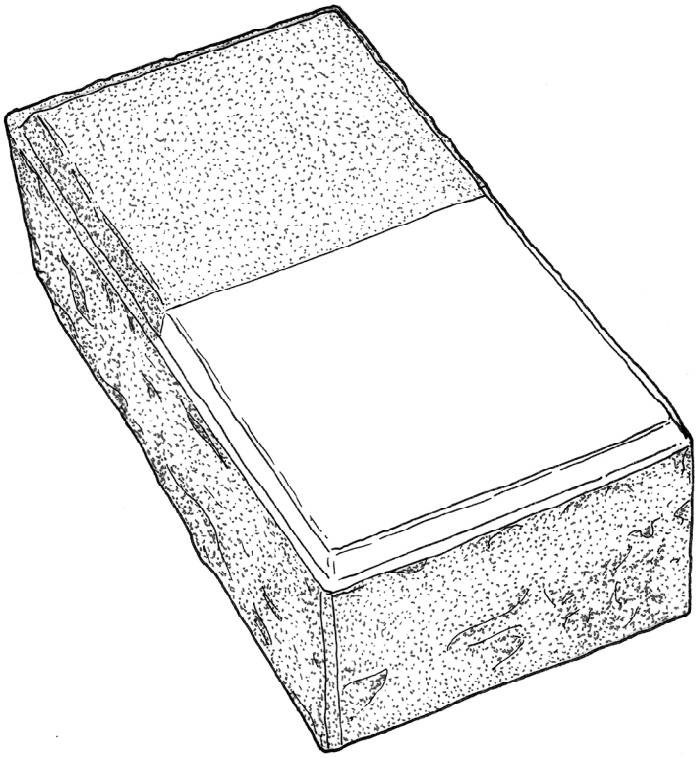

FIG.7