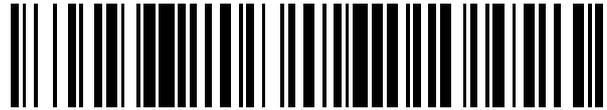


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 567 269**

51 Int. Cl.:

**A61B 17/32** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.10.2009 E 09799125 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.01.2016 EP 2362752**

54 Título: **Generador ultrasónico en modo torsional**

30 Prioridad:

**27.10.2008 GB 0819712**

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

**21.04.2016**

73 Titular/es:

**SRA DEVELOPMENTS LIMITED (100.0%)  
Bremridge House Bremridge  
Ashburton, South Devon TQ13 7JX, GB**

72 Inventor/es:

**YOUNG, MICHAEL, JOHN, RADLEY;  
YOUNG, STEPHEN, MICHAEL, RADLEY;  
SLIPSZENKO, JAMES, ANTON y  
EDE, MICHAEL, JAMES**

74 Agente/Representante:

**URÍZAR ANASAGASTI, Jesús María**

**ES 2 567 269 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

Generador ultrasónico en modo torsional.

5 La presente invención se refiere a un aparato para la generación de vibraciones ultrasónicas en modo torsional para activar una herramienta que pueda vibrar ultrasónicamente, tal como una herramienta quirúrgica. Más particularmente, pero no exclusivamente, se refiere a aparatos para la generación de vibraciones ultrasónicas en modo torsional, adaptados para incorporarse en una pieza manual de una herramienta quirúrgica. La presente  
10 invención se refiere adicionalmente a aparatos para convertir selectivamente vibraciones ultrasónicas en modo torsional a vibraciones en modo longitudinal en un extremo operativo de una herramienta, particularmente una herramienta quirúrgica.

Trabajos por Young y Young sobre herramientas quirúrgicas que pueden vibrar ultrasónicamente han establecido que en muchos sistemas las vibraciones ultrasónicas en modo torsional proporcionan distintas ventajas de  
15 rendimiento sobre las vibraciones ultrasónicas en modo longitudinal convencionales. Históricamente, sin embargo, la generación de vibraciones ultrasónicas en modo longitudinal se ha hallado que es más directa. Una pila dispuesta coaxialmente de elementos piezoeléctricos axialmente polarizados puede inducirse fácilmente para producir vibraciones ultrasónicas en modo longitudinal alineadas a lo largo del eje de la pila.

20 Un enfoque para la producción de vibraciones ultrasónicas en modo torsional, desvelado en la Patente del Reino Unido n.º GB2333709, es imponer dichas vibraciones en modo longitudinal tangencialmente sobre un asta de conversión cilíndricamente simétrica. Esto induce vibraciones en modo torsional en el asta y en un guíaondas que se extiende coaxialmente desde ella. Sin embargo, la geometría del generador resultante puede no ser conveniente, por ejemplo cuando se incorpora en una pieza manual de una herramienta quirúrgica. Adicionalmente, son siempre  
25 deseables mejoras en la eficiencia de conversión de la energía eléctrica en vibraciones ultrasónicas en la punta operativa de una herramienta. Sería también beneficioso un diseño de generador que sea más simple y más económico de construir.

Trabajos iniciales por parte de Mitskevich (por ejemplo, tal como se ha publicado en "Sources of High Intensity  
30 Ultrasound", editado por L.D. Rozenberg) indicaron que la interpolación de un elemento que tenía inhomogeneidades en la sección transversal entre una pila de elementos piezoeléctricos axialmente polarizados y un guíaondas extendido axialmente deberían inducir una proporción de vibraciones en modo torsional en el guíaondas. Sin embargo, aunque la propuesta de Mitskevich se publicó en la década de 1960, se ha demostrado difícil conseguir resultados satisfactorios en la práctica.

35 Boukhny, en la Solicitud de Patente de Estados Unidos n.º US2006/0041220, y Wuchinich, en la Patente de Estados Unidos n.º US6984220B, han intentado implementar algunos de los principios de Mitskevich. Sin embargo, cada uno ha usado un elemento que tiene inhomogeneidades en la sección transversal (elemento IST) para generar modos de vibración longitudinal/torsional combinados en un guíaondas alargado. En estas aplicaciones, el uso de los modos de vibración combinados fue considerado deseable (por ejemplo, Boukhny tenía específicamente en mente  
40 herramientas para facoemulsificación de cataratas). Sin embargo, en muchas aplicaciones quirúrgicas y otras, cualquier componente en el modo longitudinal del modo combinado es probable que incurra en los mismos problemas que un modo de vibración longitudinal puro.

45 También, las herramientas que pueden vibrar ultrasónicamente se usan ampliamente en cirugía laparoscópica. En dichas situaciones, es necesario cubrir o aislar el guíaondas para impedir que se transfiera energía a los tejidos corporales en ningún lado excepto en la punta operativa de la herramienta. Esto es tanto por razones de seguridad del paciente como para asegurar que alcanza la punta operativa de la herramienta tanta energía como sea posible. La funda se monta óptimamente en el guíaondas en planos nodales de las vibraciones en él, para minimizar la  
50 energía vibratoria transmitida a la funda. Sin embargo, en un modo de vibración combinado, cada componente tendrá una longitud de onda diferente, de modo que probablemente habrá muy pocos o ningún nodo verdadero. Solo una vibración en modo torsional puro o una vibración en modo longitudinal puro es probable que proporcione una serie de puntos de montaje nodal adecuados a lo largo de un guíaondas. Consideraciones similares son aplicables cuando se monta el generador dentro de la parte portátil de la herramienta (pieza de mano), para la que es  
55 importante que no se transfieran vibraciones a la mano del usuario.

Bromfield, en la Solicitud de Patente de Estados Unidos n.º US2009/0236938, ha desvelado recientemente un intento para producir una vibración en modo torsional puro a partir de un generador en un cierto grado derivado de los principios de Mitskevich. Este emplea dos conjuntos de elementos cerámicos piezoeléctricos alineados  
60 axialmente, separados por un elemento que comprende una breve sección IST. El generador tiene así una forma global relativamente compacta, y en una banda de frecuencias estrecha puede reproducir una vibración en modo torsional relativamente puro en un guíaondas montado en él. Sin embargo, fuera de esta banda de frecuencias, produce una vibración en modo combinado. El presente solicitante ha descubierto que para dichas disposiciones, la eficiencia de la transferencia de energía a la punta operativa distal del guíaondas es pobre. Una proporción inaceptablemente elevada de energía eléctrica proporcionada a los elementos piezoeléctricos termina disipada como calor dentro del generador, lo que es tanto ineficiente como potencialmente inseguro.

5 El documento EP 1 323 481 desvela una vibración por acoplamiento a una pieza manual ultrasónica que está adaptada para generar una vibración compuesta en la dirección del eje central del asta y una vibración torsional que tiene el eje central del asta como un punto de apoyo en una punta del asta mediante la conversión de la vibración longitudinal procedente de una fuente de vibración y, por otro lado, mediante la formación de un mecanismo de variación de velocidad de la vibración torsional en la vibración compuesta en la parte hembra de la punta del asta.

10 Se ha descubierto así que está lejos de ser fácil producir un generador ultrasónico en modo torsional efectivo en base a los principios generales establecidos por Mitskevich. Sin embargo, si se pudiera conseguir dicho generador, habría beneficios considerables con respecto al coste, simplicidad, facilidad de fabricación, compacidad y comodidad del generador. Sería naturalmente siempre ventajosa la transferencia de energía más elevada posible a la parte operativa de una herramienta.

15 Es por ello un objeto de la presente invención proporcionar un medio de generación de vibraciones ultrasónicas en modo torsional, por ejemplo para energizar una herramienta que comprende un guíaondas alargado, que evite las desventajas de los sistemas existentes mientras proporciona algunos o todos de entre los beneficios listados anteriormente.

20 De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato adaptado para generar vibraciones ultrasónicas en modo torsional, que comprende una matriz de elementos piezoeléctricos alineados coaxialmente que tiene un primer elemento de conversión extendido sustancialmente coaxialmente montado sobre ella, en el que dicho primer elemento de conversión comprende una inhomogeneidad en la sección transversal de simetría generalmente helicoidal que se extiende desde adyacente a su extremo proximal hasta adyacente a su extremo distal.

25 Pueden montarse medios de guíaondas alargados o son montables en dicho primer elemento de conversión.

Dichos medios guíaondas pueden extenderse sustancialmente coaxialmente desde el primer elemento de conversión.

30 Preferiblemente, dicha inhomogeneidad en la sección transversal tiene una longitud axial de al menos  $\lambda_T/2$ , en la que  $\lambda_T$  es la longitud de onda de las vibraciones ultrasónicas dentro del elemento de conversión.

Más preferiblemente, dicha inhomogeneidad en la sección transversal tiene una longitud axial que corresponde sustancialmente a  $\lambda_T/2$ .

35 Ventajosamente, la inhomogeneidad de la sección transversal se extiende a lo largo de al menos tres cuartos de la longitud del primer elemento de conversión, opcionalmente a lo largo de al menos nueve décimos de la longitud del mismo.

40 El primer elemento de conversión puede comprender una parte homogénea proximal que se extiende entre la inhomogeneidad de la sección transversal y el extremo proximal del elemento de conversión, teniendo dicha parte homogénea una longitud axial de  $\lambda_T/10$  o menos, opcionalmente de  $\lambda_T/20$  o menos.

45 El primer elemento de conversión puede comprender una parte homogénea distal que se extiende entre la inhomogeneidad de la sección transversal y el extremo distal del elemento de conversión, teniendo dicha parte homogénea una longitud axial de  $\lambda_T/10$  o menos, opcionalmente de  $\lambda_T/20$  o menos.

Dicha inhomogeneidad de la sección transversal comprende preferiblemente una pluralidad de medios de ranuras que se extienden helicoidalmente, extendidas sustancialmente de modo paralelo entre sí desde adyacentes al extremo proximal del primer elemento de conversión a adyacentes a su extremo distal.

50 Puede haber un número par de dichos medios de ranura, opcionalmente dos o cuatro.

Cada medio de ranura puede tener una profundidad de entre el 10 % y el 40 % de un diámetro global del elemento de conversión, opcionalmente entre el 20 % y el 40 % del mismo, o entre el 20 % y el 30 % del mismo.

55 Cada medio de ranura puede tener un ancho de entre el 2 % y el 20 % del diámetro global del elemento de conversión, opcionalmente entre el 3 % y el 14 % del mismo, o entre el 10 % y el 14 % del mismo.

60 Cada medio de ranura puede extenderse helicoidalmente entre sus extremos proximal y distal respectivos durante sustancialmente una rotación completa alrededor de la circunferencia del elemento de conversión.

65 En una realización preferida, el aparato comprende un segundo elemento de conversión que se extiende sustancialmente de modo coaxial desde la matriz de elementos piezoeléctricos, remotamente desde el primer elemento de conversión.

Dicho segundo elemento de conversión puede ser sustancialmente similar al primero.

El segundo elemento de conversión puede montarse directamente en el primero, opcionalmente mediante medios de montaje que se extienden a través o alrededor de la matriz de elementos piezoeléctricos.

5 De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato adaptado para generar vibraciones ultrasónicas en modo torsional, que comprende una matriz de elementos piezoeléctricos alineados coaxialmente que tiene un primer elemento de conversión que se extiende sustancialmente coaxialmente montado en la misma, en el que dicho primer elemento de conversión comprende una inhomogeneidad de la sección transversal de simetría generalmente helicoidal que tiene una longitud axial que corresponde sustancialmente a  $\lambda_T/2$ , donde  $\lambda_T$  es la longitud de onda de las vibraciones ultrasónicas dentro del elemento de conversión.

10 Preferiblemente, dicha inhomogeneidad de la sección transversal se extiende desde adyacente a un extremo proximal del primer elemento de conversión a adyacente a su extremo distal.

15 En una realización preferida, el aparato comprende un segundo elemento de conversión que se extiende sustancialmente coaxialmente desde la matriz de elementos piezoeléctricos, remotamente respecto al primer elemento de conversión.

20 Dicho segundo elemento de conversión puede ser sustancialmente similar al primero.

El segundo elemento de conversión puede montarse directamente en el primero, opcionalmente mediante medios de montaje que se extienden a través o alrededor de la matriz de elementos piezoeléctricos.

25 De acuerdo con un tercer aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato adaptado para generar vibraciones ultrasónicas en modo torsional, que comprende una matriz alineada coaxialmente de elementos piezoeléctricos polarizados axialmente que tiene un primer elemento de conversión que se extiende coaxialmente montado en ella, en el que dicho primer elemento de conversión comprende una inhomogeneidad de la sección transversal de simetría generalmente helicoidal, y en el que la energización de la matriz de elementos piezoeléctricos induce una vibración ultrasónica en modo torsional tanto en el primer elemento de conversión como en la matriz de elementos piezoeléctricos polarizados axialmente.

30 Preferiblemente, el aparato comprende además un segundo elemento de conversión sustancialmente idéntico al primer elemento de conversión y que se extiende sustancialmente de modo coaxial desde una cara de la matriz opuesta al primer elemento de conversión.

35 En cualquiera de los aspectos anteriores, el aparato puede proporcionarse con medios de montaje aislantes adaptados para recibir medios de revestimiento del mismo, estando montados dichos medios de montaje aislantes en el aparato en un plano nodal situado dentro de la matriz de elementos piezoeléctricos.

40 Dichos medios de montaje aislantes pueden montarse adyacentes a un punto medio de dicha matriz.

45 De acuerdo con un cuarto aspecto de la presente invención, se proporciona un medio de herramienta ultrasónicamente vibratoria que comprende un medio para generar vibraciones ultrasónicas conectado operativamente a un medio de guíaondas alargado que se extiende a una punta distal operativa del medio de herramienta, en el que el medio de guíaondas comprende una inhomogeneidad de la sección transversal que tiene una simetría generalmente helicoidal situada adyacente a dicha punta distal.

50 Dicha inhomogeneidad de la sección transversal puede adaptarse para convertir las vibraciones ultrasónicas en modo torsional en el medio de guíaondas al menos parcialmente en vibraciones ultrasónicas en modo longitudinal en la punta distal operativa.

55 Dicha inhomogeneidad de la sección transversal puede adaptarse para convertir las vibraciones ultrasónicas en modo longitudinal en el medio de guíaondas al menos parcialmente en vibraciones ultrasónicas en modo torsional en la punta distal operativa.

60 Dicha inhomogeneidad de la sección transversal puede comprender una pluralidad de medios de ranura que se extienden helicoidalmente, extendiéndose cada uno paralelamente a los otros entre un extremo proximal de la inhomogeneidad de la sección transversal y un extremo distal de la misma.

65 Los medios para generar vibraciones ultrasónicas pueden comprender aparatos para la generación de vibraciones ultrasónicas en modo torsional tal como se ha descrito en uno cualquiera del primer a tercer aspectos anteriores.

Se describirán ahora más particularmente realizaciones de la presente invención a modo de ejemplo y con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La **Figura 1A** es un alzado lateral de una primera unidad transductora que realiza la presente invención;  
 la **Figura 1B** es una representación esquemática de una amplitud de desplazamiento de las vibraciones ultrasónicas a lo largo de la primera unidad transductora de la Figura 1A, en operación;  
 la **Figura 2** es un alzado lateral de una segunda unidad transductora que realiza la presente invención;  
 la **Figura 3A** es un alzado lateral de una parte operativa de una herramienta quirúrgica que realiza la presente invención;  
 la **Figura 3B** es una representación esquemática de una amplitud de desplazamiento de las vibraciones ultrasónicas a lo largo de un guíaondas de la herramienta quirúrgica mostrada en la Figura 3A, en operación;  
 la **Figura 3C** es un alzado del extremo distal de la herramienta quirúrgica mostrada en la Figura 3A;  
 la **Figura 4A** es un alzado lateral de una tercera unidad transductora que realiza la presente invención;  
 la **Figura 4B** es un alzado en sección transversal de la tercera unidad transductora mostrada en la Figura 4A, tomada a lo largo de la línea IV-IV;  
 la **Figura 4C** es una representación esquemática de una amplitud de desplazamiento de las vibraciones ultrasónicas a lo largo de la tercera unidad transductora mostrada en las Figuras 4A y 4B, en operación;  
 la **Figura 4D** es una vista isométrica de la tercera unidad transductora mostrada en las Figuras 4A y 4B; y  
 la **Figura 5** es una vista en sección transversal radial a través de una sección de salida de la tercera unidad transductora mostrada en las Figuras 4A, 4B y 4D.

En referencia ahora a las Figuras, y a las Figuras 1A y 1B en particular, una primera unidad transductora 5 comprende una pila 8 cerámica piezoeléctrica sustancialmente convencional y una sección de salida 1 que comprende una inhomogeneidad de la sección transversal (IST), montada en una cara distal de la pila 8.

La pila 8 comprende cuatro anillos 10 transductores piezoeléctricos (TPZ) polarizados axialmente/polarizados en espesor, separados por cinco electrodos 6 conductores, que pueden ser anillos de latón, o cuñas berilio-cobre. Los anillos TPZ 10 y los electrodos 6 se mantienen en compresión entre la sección de salida 1 y una arandela 12, asegurada mediante una tuerca 14 roscada sobre un extremo proximal de una espiga 15, que se extiende coaxialmente a través de la pila 8 desde un extremo proximal de la sección de salida 1.

Los anillos TPZ 10 se conectan eléctricamente como dos pares paralelos, con electrodos extremo y central 6 a un bajo potencial y conexiones alternadas a una tensión de accionamiento a alta tensión (AT), que es típicamente de forma sinusoidal.

La pila 8 tiene así una simetría sustancialmente cilíndrica. La sección de salida 1 es también sustancialmente cilíndrica, se extiende coaxialmente desde la cara distal de la pila 8, y tiene sustancialmente el mismo diámetro que la pila 8.

Si la sección de salida 1 fuese no más que un elemento cilíndrico plano, entonces esta geometría, con anillos 10 polarizados en espesor (es decir polarizados axialmente), generarían vibraciones ultrasónicas puramente longitudinales dirigidas axialmente a lo largo de la sección 1. Dicho transductor de pila en modo longitudinal (o modo de compresión) sería una unidad relativamente barata y directa de producir.

Sin embargo, con la sección de salida 1 comprendiendo una inhomogeneidad de la sección transversal adecuada, tal como se muestra, el comportamiento de la primera unidad transductora 5 es radicalmente diferente. La IST comprende cuatro ranuras helicoidales 2, que se extienden desde adyacentes a un extremo proximal de la sección de salida 1 sustancialmente a su extremo distal. La ranuras 2 están espaciadas regularmente alrededor de la circunferencia de la sección de salida 1, y cada ranura helicoidal 2 se extiende a través de 360° alrededor de la sección de salida 1 de extremo a extremo. Las ranuras 2 se extienden a lo largo de aproximadamente el 90 % de la longitud global de la sección de salida 1, medida axialmente. La parte proximal sin ranuras 17 y la parte distal 18 de la sección de salida 1 son tan cortas como sea posible, consistentes con proporcionar una resistencia adecuada y una superficie de contacto plana segura para casar los elementos adyacentes a la misma.

Para una sección de salida 1 de diámetro global de quince milímetros, las ranuras espirales 2 deberían ser de dos a cinco milímetros de profundidad; idealmente, la profundidad de la ranura 2 debería estar entre el 20 % y el 40 % del diámetro de la sección de salida 1. El ancho de la ranura 2 debería estar entre 0,45 mm y 3 mm, idealmente entre el 3 % y el 14 % del diámetro de la sección de salida 1. Anchos de la ranura 2, de 1,5-2 mm son más directos de fabricar y son altamente efectivos.

Con una sección de salida 1 de esta estructura acoplada con seguridad a la pila 8, la conversión desde vibraciones ultrasónicas en modo longitudinal a vibraciones en modo torsional es completa. Realmente, contrariamente al conocimiento convencional y al comportamiento de otros elementos para producir disposiciones de conversión basadas en una IST, una vez energizada la pila completa 8 rápidamente entra en un modo de vibración puramente torsional sin ningún traza de componente longitudinal, a pesar de tanto la polarización de los anillos 10 como del potencial eléctrico aplicado que están únicamente alineados axialmente.

Así, tal como se muestra en la Figura 1B, un único modo de vibración puramente torsional se extiende a todo lo largo de la primera unidad transductora 5. Hay una amplitud de desplazamiento rotacional máxima en el extremo

proximal de la unidad 5 (punto A), en el extremo distal de la unidad (punto D) y aproximadamente adyacente a un extremo proximal de la ranuras 2 (punto E). Hay planos nodales en un punto medio de la pila 8 (punto B) y adyacentes a un punto medio de la ranuras 2 (punto C), en cuyos puntos la amplitud de desplazamiento rotacional es cero o próxima a cero. (Esto se ha confirmado mediante examen microscópico de películas de polvo fino espolvoreadas sobre las caras extremas y superficies cilíndricas de una unidad transductora 5 activada. Este examen también confirmó la ausencia de cualquier componente de vibración longitudinal en cualquiera de los extremos, puntos A y D).

Para un sistema bien sintonizado, la ranuras 2 se extienden cada una a una distancia  $\lambda_T/2$  medida axialmente a lo largo de la sección de salida 1, en la que  $\lambda_T$  es la longitud de onda de las vibraciones torsionales extendidas en la sección de salida 1. Se ha descubierto que el análisis por elementos finitos (AEF) es un procedimiento preferido para establecer rápidamente los parámetros apropiados, aunque otros enfoques pueden proporcionar también resultados suficientemente próximos para un ajuste fino posterior.

Se ha descubierto que las longitudes de las partes no ranuradas proximal 17 y distal 18 están también mejor controladas por una longitud de onda  $\lambda_T$  de las vibraciones en ella. Cada parte no ranurada debería ser menor de  $\lambda_T/10$  de largo, e idealmente menor de  $\lambda_T/20$  de largo, medida axialmente. No solamente partes no ranuradas 17, 18 más largas representarían material desperdiciado, sino que también tenderían a debilitar el acoplamiento vibratorio entre la pila 8 y la parte ranurada de la sección de salida 1, conduciendo probablemente a una conversión solamente parcial de las vibraciones del modo longitudinal al torsional.

La unidad transductora 5 en su conjunto es compacta y axialmente simétrica. Es fácil de incorporar dentro de la pieza manual de una herramienta de tamaño y forma conveniente, particularmente dado que hay dos planos nodales en los que pueden montarse convenientemente una cubierta en la unidad 5 con aislamiento vibratorio.

La Figura 2 muestra una segunda unidad transductora 20, que comprende una unidad transductora 5 muy similar a la primera unidad transductora 5 mostrada en la Figura 1A, con la adición de un asta de enfoque en semi-onda 2, que comprende una parte de entrada cónica 16 montada directamente en la cara distal de la sección de salida 1 y una parte de salida paralela/cilíndrica 17 que se extiende coaxialmente de modo distal desde la parte de entrada 16.

El enfoque de astas 3 de este tipo es útil para la amplificación de vibraciones en modo torsional dado que se transmiten en un guíaondas coaxial cilíndrico estrecho alargado, de la forma típicamente usada en una herramienta quirúrgica, tal como una herramienta laparoscópica para corte y/o coagulación de tejidos corporales, vasos sanguíneos y similares.

Un ejemplo de dicha herramienta se muestra en la Figura 3. Se monta un asta 31 parcialmente en una cara distal de una primera unidad transductora 5, que es sustancialmente la misma que la mostrada en la Figura 1A. Se extiende un guíaondas 34 delgado, alargado, cilíndrico desde el asta 31 a un efector extremo en una punta distal 35 de la herramienta. El guíaondas 34 y el asta 31 extienden entre ellos o bien  $n\lambda_T$  o bien  $(2n + 1)\lambda_T/2$ , en las que  $\lambda_T$  es la longitud de onda de las vibraciones ultrasónicas torsionales en él. Así, la amplitud de desplazamiento está en un máximo en la punta distal 35 (véase la Figura 3B). Esto tiene un beneficio adicional en que hay una serie de nodos a lo largo del guíaondas 34, en posiciones predecibles, en las que se puede montar una funda para encapsular el guíaondas. Estando en un nodo, se disipa una energía de vibración mínima a través de las disposiciones de montaje respectivas dentro de la funda (y por ello, potencialmente, al interior de tejidos en contacto con la funda).

El extremo del efector en sí puede ser de cualquier forma deseada que sea operativa por vibraciones ultrasónicas en modo torsional (véase por ejemplo la patente del Reino Unido n.º GB2333709 y muchas otras que tienen inventores en común con la presente solicitud). Por ello no hay ningún efector de extremo mostrado en la Figura 3A, por simplicidad.

Sin embargo, hay también formas de un efector de extremo para las que las combinaciones de excitación en modo longitudinal y en modo torsional podrían ser deseables. Como se ha mencionado anteriormente, si se propaga una vibración ultrasónica en modo combinado a lo largo de un guíaondas alargado, los nodos del componente en modo torsional es altamente improbable que coincidan con nodos del componente en modo longitudinal. De ese modo, fundas de montaje u otros componentes de la herramienta en el guíaondas es probable que sean un problema principal, dado que la energía vibratoria de cualquiera o ambos de los componentes tiende a perderse a través de los montajes. Es también probablemente difícil disponer que ambos componentes produzcan una amplitud máxima en o cerca del efector de extremo.

En dichos casos, la incorporación de una característica de inhomogeneidad de la sección transversal (IST) adicional es probable que sea de beneficio, tal como se muestra en la Figura 3A. Se dispone una parte de IST corta 32 en un extremo distal del guíaondas 34, adyacente a la punta distal 35. Se extiende una serie de ranuras helicoidales 37 a través de la parte de IST 32, cada una teniendo una profundidad 36 (véase la Figura 3C).

Cuando se propaga a lo largo del guíaondas 34 una vibración en modo torsional puro, la parte de IST 32 distal convierte una parte de la onda de desplazamiento en modo torsional en una onda de compresión en modo

longitudinal en la punta distal 35 (véanse la onda torsional 39 y la onda longitudinal discontinua 40 en la Figura 3B). Un resto del guíaondas 34 permanece resonante en un modo torsional puro, evitando problemas con el aislamiento a lo largo de su longitud. La proporción de energía en modo torsional transformada en modo longitudinal depende de la profundidad 36 de las ranuras 37 y el paso del perfil helicoidal de las ranuras 37. Ranuras más superficiales 37 favorecen el componente en modo torsional, mientras que ranuras 37 más profundas incrementan la transformación al modo longitudinal.

Esta transformación parcial de las vibraciones en modo torsional al modo longitudinal no solo serían útiles en conjunto con unidades transductoras 5 en modo torsional que realizan la presente invención, sino que también podrían aplicarse potencialmente a guíaondas energizados por generadores ultrasónicos en modo torsional conocidos, tal como los descritos en la patente del Reino Unido n.º GB2333709 y otras.

Aunque una conversión parcial del modo longitudinal al modo torsional, usando unas IST adyacentes a un extremo proximal de un guía ondas, ha sido demostrada previamente por Boukhny, Wuchinich y otros (véase más arriba), se cree que este es el primer caso de conversión de modo torsional a modo longitudinal con una IST, y el primer caso de conversión de modo en un extremo distal del guíaondas.

Se muestra una tercera unidad transductora 50 que realiza la presente invención en las Figuras 4A a 4D y 5. De nuevo, se proporciona una pila de TPZ en modo axial convencional que comprende cuatro anillos TPZ 10 polarizados en espesor, con cinco electrodos 52 intercalados, pero uno 56 de forma convencional. Sin embargo, esta tercera unidad transductora 50 está provista con dos IST, en la forma de dos convertidores torsionales de resorte 51, 53 (la sección de salida 1 de la primera unidad transductora 5 puede considerarse también como un convertidor torsional de resorte).

Se monta un convertidor torsional 53 de resorte distal en una cara distal de la pila de TPZ, y acciona un asta 54 torsional convencional que se extiende coaxialmente desde su extremo distal. El convertidor torsional 53 de resorte distal está provisto con cuatro ranuras 53 helicoidales equidistantemente espaciadas que se extienden en una distancia  $\lambda_T/2$  a lo largo de su longitud y que tienen un paso de  $360^\circ$  de extremo a extremo, como para la sección de salida 1 de la primera unidad transductora 5.

La tercera unidad transductora 50 comprende también un convertidor torsional 51 de resorte proximal, que se monta para extenderse coaxialmente desde una cara proximal de la pila de TPZ. Se extiende una espiga 59 desde el convertidor proximal 51, coaxialmente a través de los anillos TPZ 10 de la pila y al interior de un conector roscado cooperativamente en el convertidor distal 53. Los dos convertidores 51, 53 actúan así también como placas frontal y posterior para comprimir la pila de TPZ entre ellas.

Esta geometría tiene varios beneficios. Una es que el transductor que comprende la pila de anillos TPZ 10 y los dos convertidores 51, 53 son globalmente simétricos, y hay un plano nodal fijo en el punto medio de la pila. Uno central de los electrodos 56 puede así extenderse radialmente hacia el exterior para duplicarse como un elemento de montaje nodal. Esto proporciona sustancialmente un aislamiento acústico completo. Se forma un casquillo de aislamiento 57 como parte del elemento de montaje nodal/electrodos 56, en el que puede montarse a su vez una pieza manual de cubierta segura y convenientemente.

El montaje del convertidor proximal 51 en un convertidor distal 53 añade ganancia torsional adicional al convertidor distal 53, en comparación con la disposición de la primera unidad transductora 5.

La salida de la tercera unidad transductora 50 es (como en la primera unidad 5) una vibración ultrasónica en modo torsional puro, y toda la tercera unidad transductora 50 experimenta de nuevo una única vibración en modo torsional, incluyendo la pila de anillos TPZ 10 polarizados en espesor estimulados axialmente. Sin embargo, la eficiencia de la transferencia de energía a un guíaondas, en la forma de vibraciones en modo torsional, es incluso mayor que para la primera unidad 5.

Con referencia a la Figura 4C, se muestra un trazado 60 de la amplitud de desplazamiento a lo largo de la tercera unidad transductora 50. Dos convertidores proximal 51 y distal 53 tienen cada uno una longitud sustancialmente correspondiente a la mitad de la longitud de onda de las vibraciones en modo torsional en ellos (como en el caso de la sección de salida 1 de la primera unidad transductora 5, las longitudes de las partes sin ranuras respectivas de los convertidores 51, 53 se mantienen al mínimo, idealmente menos de una décima incluso un veinteaño de una longitud de onda). La pila de anillos TPZ 10 también tiene una longitud correspondiente a la mitad de la longitud de onda (más corta) de las vibraciones en modo torsional en ellas, y el asta 54 se sintoniza también para tener una longitud la mitad de una longitud de onda. Así, hay amplitudes de desplazamiento máximo en el extremo proximal del convertidor proximal 51 ( $A_3$ ), la cara distal de la pila ( $A_4$ ), el extremo distal del convertidor distal 53/extremo distal del asta 54 ( $A_2$ ) y en el extremo distal del asta 54 ( $A_1$ ). Las ganancias producidas en estas uniones son tales que  $A_1 > A_2 > A_3 > A_4$ . (Nota: las amplitudes relativas mostradas en las Figuras 4C no están a escala; los últimos resultados indican que  $A_2$  es aproximadamente el doble que  $A_3$ ). De ese modo, una proporción muy alta de la energía suministrada a la pila puede proyectarse como vibraciones ultrasónicas en modo torsional desde el extremo distal del asta 54 al interior de un guíaondas convencional o similar, que se extiende parcialmente desde la misma.

5 Se ha descubierto que para un efector extremo distal de cuatro milímetros de diámetro montado en dicho guiaondas, puede suministrarse una vibración ultrasónica en modo torsional puro al efector extremo lo que da como resultado una amplitud de desplazamiento, medida alrededor de la circunferencia del efector extremo, de 200  $\mu\text{m}$ . Esto representa mucha más eficiencia y transferencia de energía efectiva de la que puede conseguirse con los sistemas existentes, además de los beneficios de la transmisión en modo torsional descritos anteriormente.

10 Para la tercera unidad transductora 50, se debería observar que los conjuntos de ranuras helicoidales 55 en los convertidores proximal 51 y distal 53 deberían corregirse en fase tal como se muestra, para maximizar la ganancia del sistema global y para evitar la generación de componentes no deseados en modo longitudinal. Si las ranuras helicoidales 55 estuviesen alineadas en sentidos opuestos, entonces sus efectos probablemente se cancelarían.

15 Es interesante que la presente invención representa un ejemplo adicional, además del desvelado en la Solicitud de PCT pendiente junto con la presente del presente solicitante n.º PCT/GB2009/001281, de cómo es posible, dada una elección creativa de elementos mecánicos adicionales, inducir que anillos TPZ axialmente polarizados simples, esencialmente convencionales y pilas vibren en un modo no axial y para producir eficientemente una salida de vibración de elevada amplitud en ese modo no axial. En la referencia anterior, puede inducirse un modo de flexión desde una pila ostensiblemente estimulada axialmente, mientras que la presente solicitud, es un modo torsional el que puede generarse en lugar del modo longitudinal/extensional anticipado. Normalmente, forzar a dicha pila a vibrar en otro modo sería muy ineficiente, pero es ahora posible proporcionar eficientemente una salida de elevado  
20 desplazamiento a partir de una pila simple y económica de elementos TPZ polarizados en espesor.

## REIVINDICACIONES

1. Aparato (5, 20, 50) adaptado para generar vibraciones ultrasónicas en modo torsional puro, que comprende una matriz (8) de elementos piezoeléctricos (10) alineados coaxialmente que tiene un primer elemento de conversión (1, 53) extendido sustancialmente coaxialmente montado sobre dicha matriz (8), en el que dicho primer elemento de conversión (1) comprende una inhomogeneidad (2) en la sección transversal de simetría generalmente helicoidal que se extiende desde adyacente a un extremo proximal (17) del primer elemento de conversión (1) hasta adyacente a un extremo distal (18) del primer elemento de conversión (1).
2. Aparato según la reivindicación 1, **caracterizado por que** dicha inhomogeneidad (2) en la sección transversal tiene una longitud axial de al menos  $\lambda_T/2$ , en la que  $\lambda_T$  es la longitud de onda de las vibraciones ultrasónicas dentro del elemento de conversión (1, 53).
3. Aparato según o bien la reivindicación 1 o bien la reivindicación 2, **caracterizado por que** dicha inhomogeneidad (2) en la sección transversal tiene una longitud axial que corresponde sustancialmente a  $\lambda_T/2$ .
4. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** la inhomogeneidad (2) de la sección transversal se extiende a lo largo de al menos tres cuartos de la longitud del primer elemento de conversión (1, 53).
5. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** el primer elemento de conversión (1, 53) comprende una parte homogénea proximal (17) que se extiende entre la inhomogeneidad (2) de la sección transversal y el extremo proximal del elemento de conversión (1, 53), teniendo dicha parte homogénea proximal (17) una longitud axial de  $\lambda_T/10$  o menos.
6. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** el primer elemento de conversión (1) comprende una parte homogénea distal (18) que se extiende entre la inhomogeneidad (2) de la sección transversal y el extremo distal del elemento de conversión (1, 53), teniendo dicha parte homogénea distal (18) una longitud axial de  $\lambda_T/10$  o menos.
7. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** dicha inhomogeneidad (2) de la sección transversal comprende una pluralidad de medios de ranuras (2, 55) que se extienden helicoidalmente, extendidas sustancialmente de modo paralelo entre sí desde adyacentes al extremo proximal (17) del primer elemento de conversión (1, 53) a adyacentes a su extremo distal (18).
8. Aparato según la reivindicación 7, **caracterizado por que** cada medio de ranura (2, 55) se extiende helicoidalmente entre sus extremos proximal y distal respectivos durante sustancialmente una rotación completa alrededor de la circunferencia del elemento de conversión (1, 53).
9. Aparato (50) según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** comprende un segundo elemento de conversión (51) que se extiende sustancialmente de modo coaxial desde la matriz (8) de elementos piezoeléctricos (10), remotamente desde el primer elemento de conversión (53).
10. Aparato según la reivindicación 9, **caracterizado por que** dicho segundo elemento de conversión (51) es sustancialmente similar al primero (53).
11. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** está provisto de medios de montaje aislantes (57) adaptados para recibir medios de revestimiento del mismo, estando montados dichos medios de montaje aislantes (57) en el aparato (5, 20, 50) en un plano nodal situado dentro de la matriz (8) de elementos piezoeléctricos (10).
12. Medio de herramienta ultrasónicamente vibratoria que comprende un medio para generar vibraciones ultrasónicas (5, 20, 50) conectado operativamente a un medio de guíaondas (34) alargado que se extiende hasta una punta distal (35) operativa del medio de herramienta, **caracterizado por que** el medio para generar vibraciones ultrasónicas comprende aparatos para la generación de vibraciones ultrasónicas en modo torsional de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, y el medio guíaondas (34) comprende una inhomogeneidad (32) de la sección transversal que tiene una simetría generalmente helicoidal dispuesto adyacente a dicha punta distal (35) del medio guíaondas (34).
13. Medio de herramienta según la reivindicación 12, **caracterizado por que** dicha inhomogeneidad (32) de la sección transversal se adapta para convertir las vibraciones ultrasónicas en modo torsional (39) en el medio de guíaondas (34) al menos parcialmente en vibraciones ultrasónicas en modo longitudinal (40) en la punta distal operativa (35).
14. Medio de herramientas según cualquiera de la reivindicación 12 o la reivindicación 13, **caracterizado por que** dicha inhomogeneidad (32) de la sección transversal comprende una pluralidad de medios de ranura (37) que se

extienden helicoidalmente, extendiéndose cada uno paralelamente a los otros entre un extremo proximal de la inhomogeneidad (32) de la sección transversal y un extremo distal de la misma.

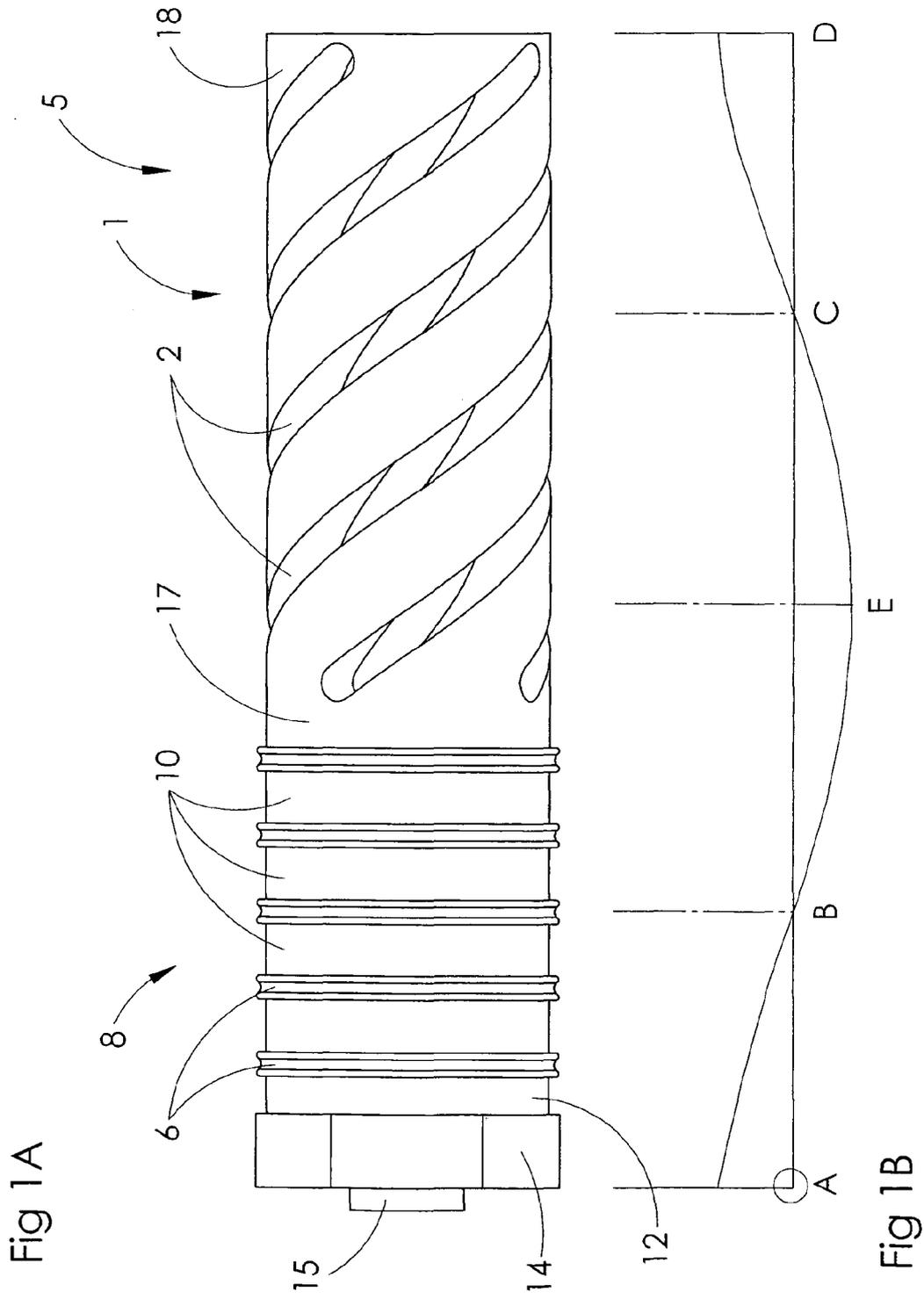


Fig 1A

Fig 1B

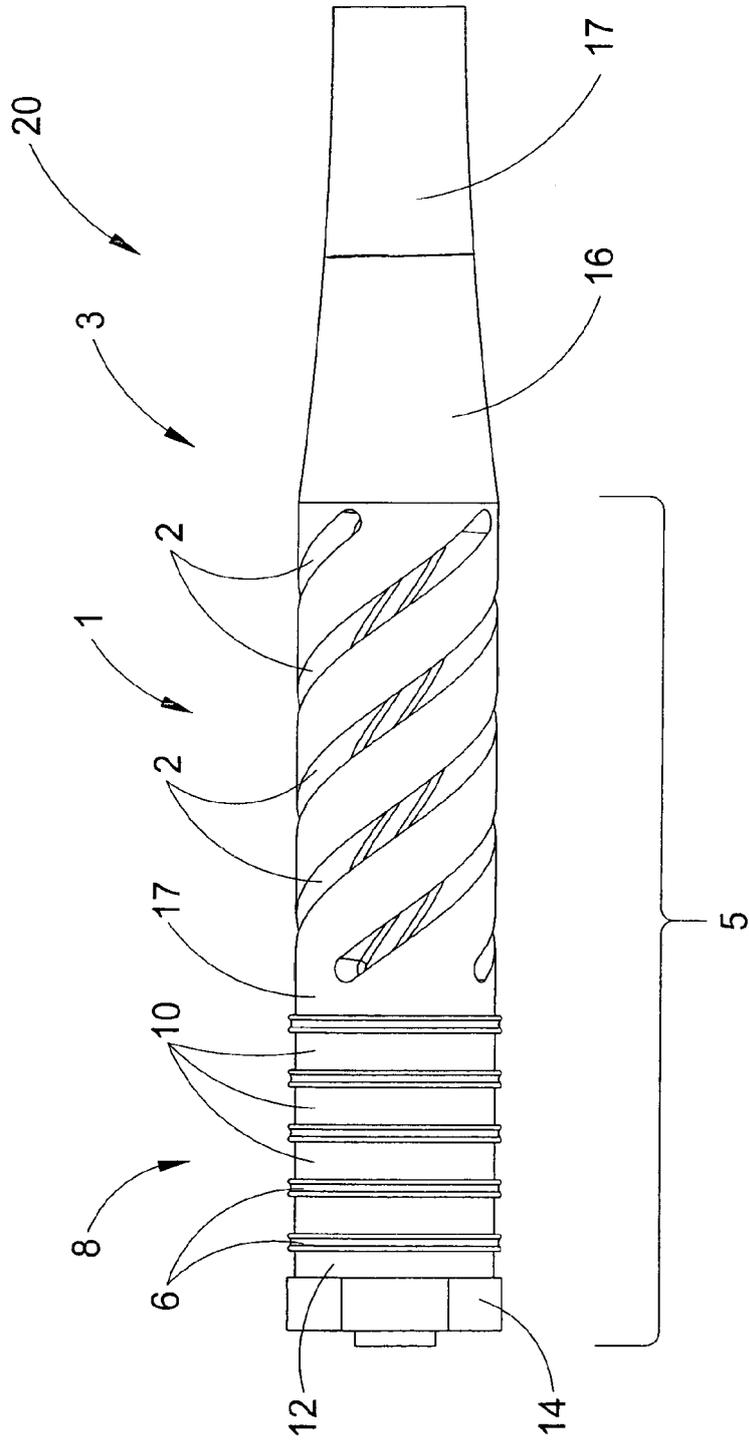


Fig 2

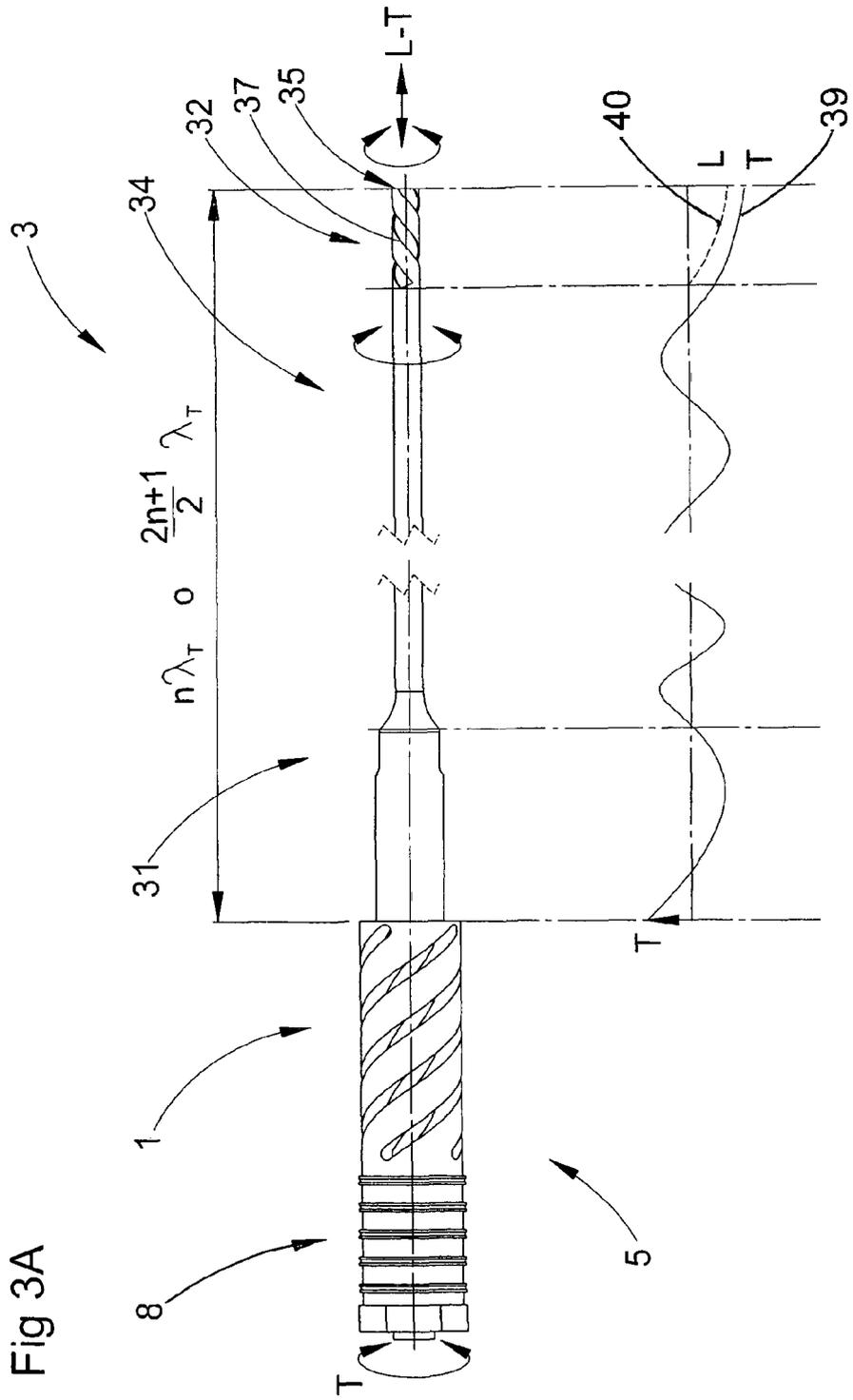


Fig 3A

Fig 3B

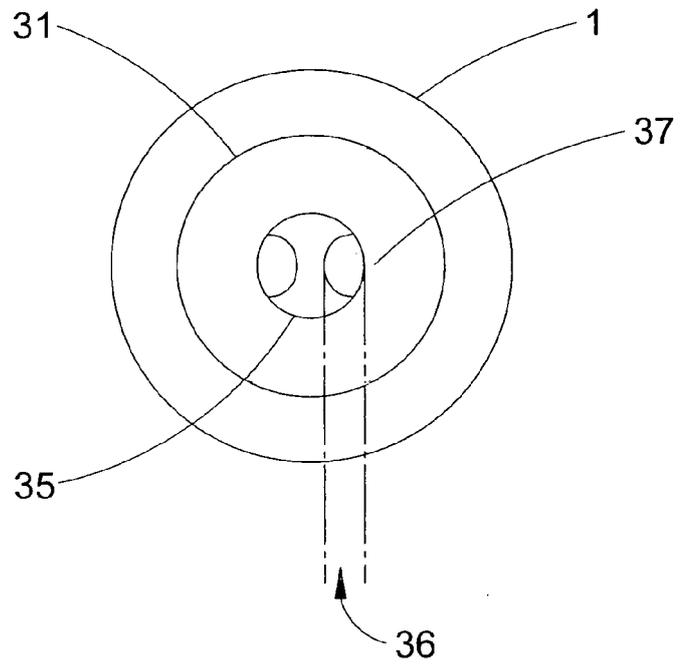


Fig 3C

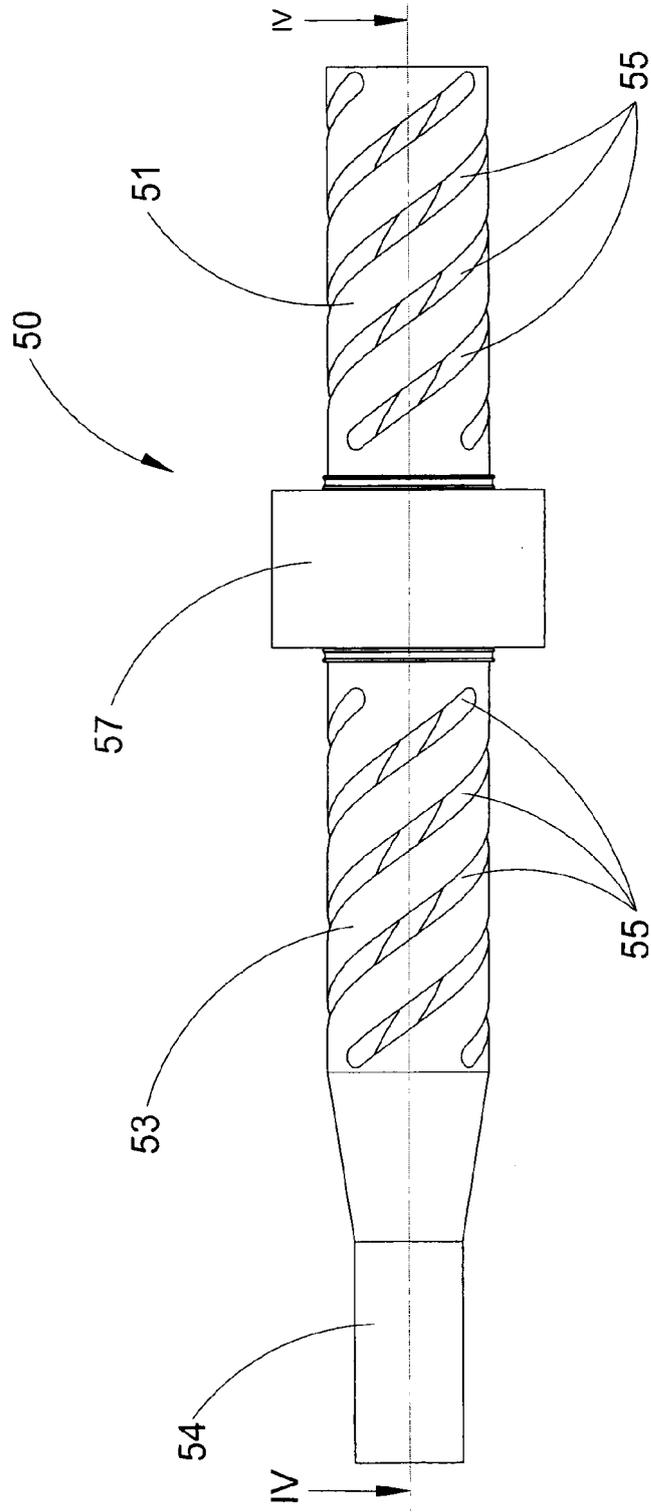


Fig 4A

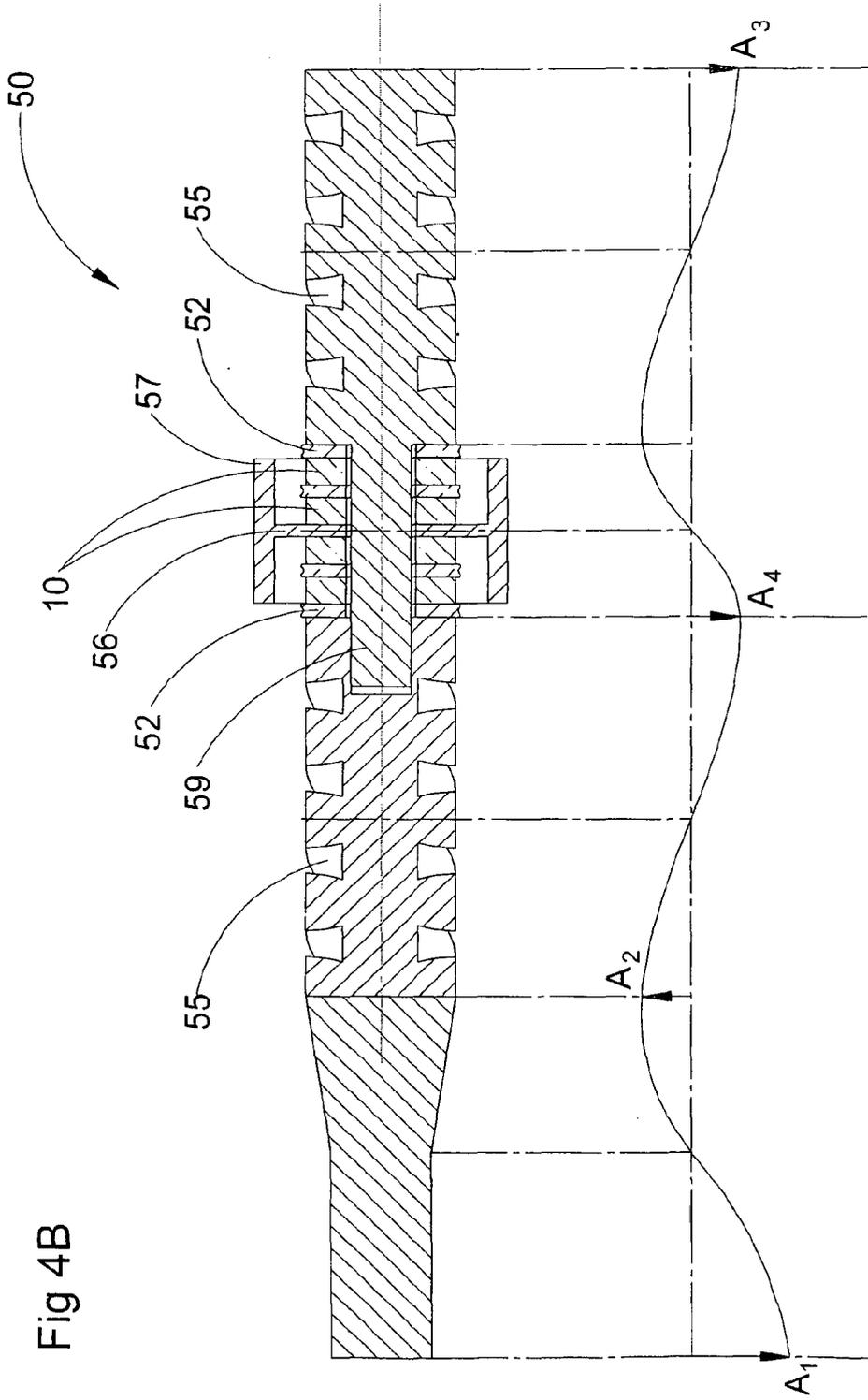


Fig 4B

Fig 4C

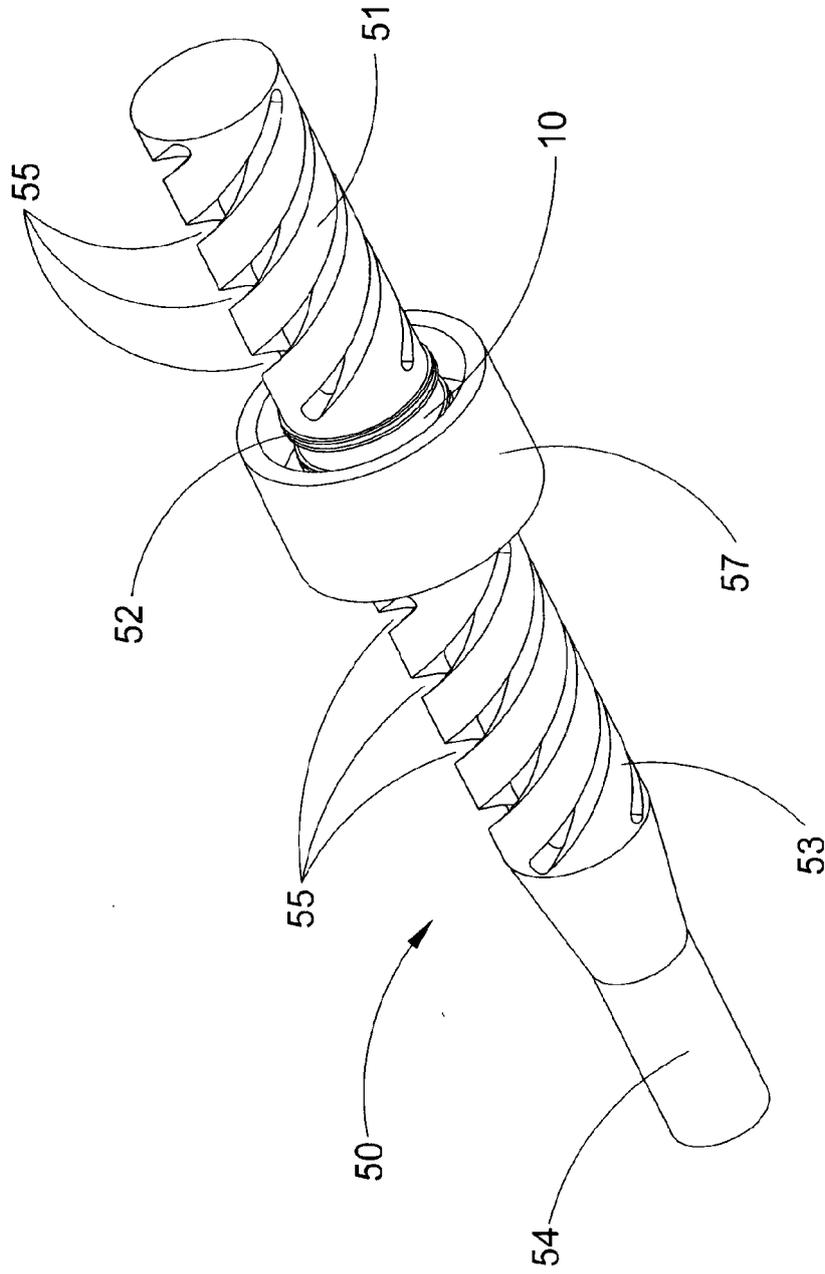


Fig 4D

Fig 5

