(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 739 377**

(51) Int. Cl.:

***G01V 3/10*** (2006.01)
***A61B 90/00*** (2006.01)
***A61B 34/20*** (2006.01)
*A61B 5/06* (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.04.2007** **E 07251788 (1)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.05.2019** **EP 1849428**

(54) Título: **Distorsión de campo reducida en herramientas médicas**

(30) Prioridad:

**28.04.2006 US 414449**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
**30.01.2020**

(73) Titular/es:

**BIOSENSE WEBSTER, INC. (100.0%)**
**3333 Diamond Canyon Road**
**Diamond Bar, CA 91765, US**

(72) Inventor/es:

**SHALGI, AVI;**
**NITZAN, YAACOV;**
**BAR-TAL, MEIR y**
**YARON, URI**

(74) Agente/Representante:

**IZQUIERDO BLANCO, María Alicia**

**ES 2 739 377 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).

## DESCRIPCION

Distorsión de campo reducida en herramientas médicas

### CAMPO DE LA INVENCIÓN

La presente invención se refiere de manera general al seguimiento de la posición de dispositivos intracuerpo médicos y herramientas médicas, y particularmente a herramientas médicas que provocan una perturbación reducida de las mediciones de posición en los sistemas de seguimiento de posición magnética.

### ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

Se conocen varios métodos y sistemas en la técnica para el seguimiento de las coordenadas de objetos involucrados en procedimientos médicos. Algunos de estos sistemas usan mediciones de campo magnético. Por ejemplo, las Patentes de Estados Unidos 5.391.199 y 5,443,489 describen sistemas en los que las coordenadas de una sonda intracuerpo se determinan usando uno o más transductores de campo. Tales sistemas se usan para generar información de localización referente a una sonda o catéter médico. Un sensor, como una bobina, se coloca en la sonda y genera señales en respuesta a campos magnéticos aplicados externamente. Los campos magnéticos son generados por transductores de campo magnético como bobinas radiadoras, fijados a un marco de referencia externo en localizaciones conocidas, separadas entre sí.

Métodos y sistemas adicionales referentes al seguimiento de posición magnético también se describen, por ejemplo, en la Publicación de Patente PCT WO 96/05768, Patentes de Estados Unidos 6.690.963, 6.239.724, 6.618.612 y 6.332.089 y las Publicaciones de Solicitud de Patente de Estados Unidos 2002/0065455 A1, 2003/0120150 A1 y 2004/0068178 A1. Estas publicaciones describen métodos y sistemas que siguen la posición de los objetos intracuerpo como catéteres cardíacos, implantes ortopédicos y herramientas médicas usadas en diferentes procedimientos médicos.

Es bien sabido en la técnica que la presencia de herramientas médicas y quirúrgicas que comprenden material metálico, ferromagnético y/o paramagnético dentro del campo magnético de un sistema de seguimiento de posición magnético distorsiona a menudo las mediciones del sistema. En algunos casos, la distorsión está provocada por corrientes de Foucault que son inducidas en tales objetos por el campo magnético del sistema. En otros casos, el objeto interferente distorsiona el propio campo magnético del sistema.

Se han descrito varios métodos y sistemas en la técnica para realizar el seguimiento de la posición en presencia de dicha interferencia. Por ejemplo, la Patente de Estados Unidos Nº 6.147.480 describe un método en el que las señales inducidas en el objeto bajo seguimiento se detectan primero en ausencia de cualquier artículo que pueda provocar componentes de señal parásita. Se determinan las fases de referencias de las señales. Cuando un artículo que genera campos magnéticos parásitos se introduce en las cercanías del objeto bajo seguimiento, se detecta el desplazamiento de fase de las señales inducidas debido a los componentes parásitos. Los cambios de fase medidos se usan para indicar que la posición del objeto puede ser inexacta. Los cambios de fase también se usan para analizar las señales con el fin de eliminar por lo menos una parte de los componentes de la señal parásito.

Otra aplicación se describe en la Patente de Estados Unidos Nº 5.767.669. Los inventores describen un sistema para determinar la posición de los sensores remotos usando campos magnéticos pulsados. Los campos son detectados por un sensor remoto que comprende una pluralidad de elementos de detección de campo pasivos. Las distorsiones de la corriente de Foucault se detectan por separado y son restadas por el sistema. El sistema mide el efecto de los objetos metálicos presentes en el entorno y ajusta dinámicamente los valores medidos en consecuencia. Los campos magnéticos detectados se usan para calcular la posición y la orientación del objeto remoto.

La reducción de las corrientes de Foucault inducida en objetos se implementa algunas veces construyendo los objetos a partir de capas laminadas de placas delgadas metálicas o de hierro en polvo. Por ejemplo, la Patente de Estados Unidos 6.178.353 describe un dispositivo médico implantable que utiliza estructuras laminadas, seccionadas, o a base de partículas, para reducir la energía eléctrica absorbida por el dispositivo de implante cuando está en uso. Los inventores reivindican que esta construcción hace que el dispositivo de implante sea inmune a ser dañado por obtención de imágenes por resonancia magnética (MRI).

En algunas aplicaciones, las placas laminadas también están ranuradas, para reducir las corrientes de Foucault dentro de las capas. Por ejemplo, la Patente de Estados Unidos Nº 5.555.251 describe un método para construir partes de un generador de imágenes médicas por resonancia magnética usando capas laminadas cortadas de material de lámina de transformador. Cada capa está aislada eléctricamente de capas y superficies adyacentes por esmalte o pegamento de fijación. Para reducir las corrientes de Foucault en estas capas, se cortan ranuras estrechas orientadas radialmente en las capas antes de la laminación. Las ranuras están orientadas en las capas adyacentes para que no coincidan. Los inventores reivindican que esta construcción mejora la conducción del flujo

magnético en el volumen de obtención de imágenes.

En algunas aplicaciones, la composición del material de las herramientas médicas se elige para reducir la distorsión del campo magnético provocada por la herramienta. Por ejemplo, la Patente de Estados Unidos Nº 6.258.071 describe una aguja médica hecha de materiales no metálicos no magnéticos, de tal manera que los procedimientos de intervención médica que requieren acceso con una aguja a personas, animales, o tejidos aislados pueden realizarse en un escáner de obtención de imágenes por resonancia magnética (MRI) sin artefactos significativos o distorsión de la imagen. Las dimensiones de la aguja son adaptables a la tarea requerida.

Como otro ejemplo, la Patente de Estados Unidos 5.738.632 describe un dispositivo para su uso en combinación con un aparato de MRI. La parte del extremo distal del dispositivo tiene una permeabilidad magnética de tal valor que el diagnóstico y el tratamiento no se ven influenciados por las distorsiones de la imagen de resonancia magnética debidas a una perturbación de la uniformidad del campo magnético estático generado por el aparato de MRI.

**SUMARIO DE LA INVENCIÓN**

Los sistemas de seguimiento de posición magnética producen a menudo mediciones erróneas o inexactas cuando hay objetos metálicos, paramagnéticos y/o ferromagnéticos presentes en las cercanías del objeto bajo seguimiento. Algunos de estos errores están provocados por corrientes de Foucault que son inducidas en los objetos. Otros errores están provocados por la distorsión de las líneas del campo magnético por materiales ferromagnéticos.

La presente invención se define en las reivindicaciones adjuntas.

Las realizaciones de la presente invención proporcionan métodos mejorados para fabricar y usar herramientas médicas que reducen el nivel de distorsión del campo magnético. Como resultado, las herramientas fabricadas y operadas de acuerdo con los métodos divulgados producen una distorsión menor cuando se someten a un campo magnético y, por tanto, reducen los errores relacionados con la distorsión en los cálculos de posición del sistema de seguimiento de posición magnético.

En algunos ejemplos divulgados, la distorsión de la corriente de Foucault se reduce en una herramienta aplicando discontinuidades eléctricas, como huecos u otras aberturas a elementos con forma de bucle de la herramienta, para reducir las corrientes de Foucault inducidas. En otras realizaciones, la herramienta médica comprende una estructura laminada de capas eléctricamente conductoras separadas por capas eléctricamente aislantes. La estructura intercalada limita las superficies conductoras potenciales sobre las que se pueden formar los bucles de corrientes de Foucault.

En algunos ejemplos divulgados, la distorsión relacionada con los materiales ferromagnéticos se reduce aplicando a la herramienta ferromagnética un recubrimiento eléctricamente conductor que comprende un material paramagnético. Opcionalmente, se introduce un patrón de ranuras en el recubrimiento. El recubrimiento y/o las ranuras están configuradas de tal manera que los bucles de corrientes de Foucault inducidas en el recubrimiento produzcan un campo parásito que anula por lo menos parte de la distorsión del campo provocada por el material ferromagnético.

Los métodos, sistemas y herramientas divulgados en la presente pueden usarse independientemente, en combinación entre sí, o en combinación con cualquier método de compensación de campo parásito, como los métodos descritos en las Patentes de Estados Unidos 6.147.480 y 5.767.669 citadas anteriormente.

Por lo tanto, se proporciona un sistema para el tratamiento del cuerpo de un paciente, que incluye:
un sistema de seguimiento de posición magnético, que incluye:

un primer transductor de campo, que está dispuesto para generar un campo magnético;
un segundo transductor de campo, que está dispuesto para detectar el campo magnético y generar una señal en respuesta al campo detectado,
en donde uno de los transductores de campo está acoplado a un objeto para su inserción en el cuerpo; y
una unidad de control, que está dispuesta para procesar la señal para determinar una posición del objeto; y
una herramienta médica para su uso en el tratamiento del cuerpo, la herramienta incluyendo una primera pluralidad de capas que incluyen un material eléctricamente conductor, intercalada con una segunda pluralidad de capas que incluyen un material eléctricamente aislante, en donde las capas están dispuestas para reducir la distorsión de la corriente de Foucault en el campo magnético detectado por el segundo transductor de campo.

En un ejemplo divulgado, las capas en la primera y segunda pluralidades incluyen respectivamente las primeras y las segundas capas planas. En otro ejemplo divulgado, la herramienta tiene un eje, y las capas en la

primera y segunda pluralidades incluyen respectivamente las primeras y las segundas capas anulares que rodean el eje. Adicional o alternativamente, por lo menos una de las capas en la primera pluralidad tiene una discontinuidad eléctrica introducida en la misma para reducir la distorsión de la corriente de Foucault.

En otro ejemplo divulgado más, la herramienta médica incluye una herramienta ortopédica, y el objeto incluye un implante ortopédico. En otro ejemplo divulgado, la segunda pluralidad de capas incluye por lo menos uno de un material adhesivo aplicado entre la primera pluralidad de capas y una capa de recubrimiento eléctricamente aislante aplicada a la primera pluralidad de capas.

En un ejemplo divulgado, la herramienta incluye un núcleo que incluye un material ferromagnético y una capa de recubrimiento exterior sobre el núcleo, la capa de recubrimiento incluyendo un material conductor configurado para producir distorsión de la corriente de Foucault en respuesta al campo magnético para anular por lo menos parte de una distorsión provocada por el núcleo en el campo magnético detectado por el segundo transductor de campo. En otro ejemplo divulgado, la herramienta incluye un elemento con forma de bucle eléctricamente conductor que tiene una discontinuidad eléctrica introducida en el mismo para reducir la distorsión de la corriente de Foucault provocada por el elemento con forma de bucle en el campo magnético detectado por el segundo transductor de campo.

En un ejemplo divulgado, el sistema incluye un tercer transductor de campo acoplado a la herramienta médica, y la unidad de control está dispuesta además para determinar una posición de la herramienta médica usando el tercer transductor de campo.

En otro ejemplo divulgado, el primer transductor de campo incluye un generador de campo externo al cuerpo, y el segundo transductor de campo incluye un sensor de posición acoplado al objeto. Alternativamente, el primer transductor de campo incluye un generador de campo acoplado al objeto, y el segundo transductor de campo incluye un sensor de posición externo al cuerpo.

También se proporciona un sistema para el tratamiento del cuerpo de un paciente, que incluye:
un sistema de seguimiento de posición magnético, que incluye:

un primer transductor de campo, que está dispuesto para generar un campo magnético;
un segundo transductor de campo, que está dispuesto para detectar el campo magnético y generar una señal en respuesta al campo detectado,
en donde uno de los transductores de campo está acoplado a un objeto para su inserción en el cuerpo; y
una unidad de control, que está dispuesta para procesar la señal para determinar una posición del objeto; y
una herramienta médica para su uso en el tratamiento del cuerpo, la herramienta incluyendo un núcleo que incluye un material ferromagnético y una capa de recubrimiento exterior sobre el núcleo, la capa de recubrimiento incluyendo un material conductor configurado para producir distorsión de la corriente de Foucault en respuesta al campo magnético para anular por lo menos parte de una distorsión provocada por el núcleo en el campo magnético detectado por el segundo transductor de campo.

En un ejemplo divulgado, la capa de recubrimiento exterior incluye cobre. Adicional o alternativamente, la capa de recubrimiento exterior tiene un patrón de ranuras formadas en la misma para controlar la formación de la distorsión de la corriente de Foucault provocada por la capa de recubrimiento.

Además, se proporciona un sistema para el tratamiento de un cuerpo de un paciente, que incluye:
un sistema de seguimiento de posición magnético, que incluye:

un primer transductor de campo, que está dispuesto para generar un campo magnético;
un segundo transductor de campo, que está dispuesto para detectar el campo magnético y generar una señal en respuesta al campo detectado,
en donde uno de los transductores de campo está acoplado a un objeto para su inserción en el cuerpo; y
una unidad de control, que está dispuesta para procesar la señal para determinar una posición del objeto; y
una herramienta médica para su uso en el tratamiento del cuerpo, la herramienta incluyendo un elemento con forma de bucle eléctricamente conductor que tiene una discontinuidad eléctrica introducida en el mismo para reducir la distorsión de la corriente de Foucault provocada por el elemento con forma de bucle en el campo magnético detectado por el segundo transductor de campo.

En los ejemplos divulgados, el elemento con forma de bucle incluye por lo menos uno de un mango y una sección transversal con forma de bucle de la herramienta.

Se proporciona adicionalmente una herramienta médica para operar en un volumen de trabajo de un sistema de seguimiento de posición magnético, la herramienta incluyendo:

una primera pluralidad de capas que incluye un material eléctricamente conductor; y

una segunda pluralidad de capas que incluye un material eléctricamente aislante e intercalada con la primera pluralidad, en donde las capas están dispuestas para reducir la distorsión de la corriente de Foucault en un campo magnético generado por el sistema de seguimiento de posición magnético.

También se proporciona una herramienta médica para operar en un volumen de trabajo de un sistema de seguimiento de posición magnético, la herramienta incluyendo:

un núcleo que incluye un material ferromagnético; y
una capa de recubrimiento exterior sobre el núcleo, la capa de recubrimiento incluyendo un material conductor configurado para producir distorsión de la corriente de Foucault en respuesta al campo magnético para anular por lo menos parte de una distorsión provocada por el núcleo en un campo magnético generado por el sistema de seguimiento de posición magnético.

También se proporciona una herramienta médica para operar en un volumen de trabajo de un sistema de seguimiento de posición magnético, la herramienta incluyendo un elemento con forma de bucle eléctricamente conductor que tiene una discontinuidad eléctrica introducida en el mismo, para reducir la distorsión de la corriente de Foucault provocada por el elemento con forma de bucle en un campo magnético generado por el sistema de seguimiento de posición magnético.

Adicionalmente se proporciona un método para el tratamiento del cuerpo de un paciente, que incluye:

generar un campo magnético usando un primer transductor de campo;
detectar el campo magnético usando un segundo transductor de campo, en donde uno de los transductores de campo está acoplado a un objeto en el cuerpo, para determinar una posición del objeto; y
tratar el cuerpo usando una herramienta médica, que incluye una primera pluralidad de capas que incluyen un material eléctricamente conductor, intercalada con una segunda pluralidad de capas que incluyen un material eléctricamente aislante, en donde las capas están dispuestas para reducir la distorsión de la corriente de Foucault en el campo magnético detectado por el segundo transductor de campo.

También se proporciona un método para el tratamiento de un cuerpo de un paciente, que incluye:

generar un campo magnético usando un primer transductor de campo;
detectar el campo magnético usando un segundo transductor de campo, en donde uno de los transductores de campo está acoplado a un objeto en el cuerpo, para determinar una posición del objeto; y
tratar el cuerpo usando una herramienta médica, que incluye un núcleo que incluye un material ferromagnético y una capa de recubrimiento exterior sobre el núcleo, la capa de recubrimiento incluyendo un material conductor configurado para producir distorsión de la corriente de Foucault en respuesta al campo magnético para anular por lo menos algo de una distorsión provocada por el núcleo en el campo magnético detectado por el segundo transductor de campo.

Se proporciona además un método para el tratamiento de un cuerpo de un paciente, que incluye:

generar un campo magnético usando un primer transductor de campo;
detectar el campo magnético usando un segundo transductor de campo, en donde uno de los transductores de campo está acoplado a un objeto en el cuerpo, para determinar una posición del objeto; y
tratar el cuerpo usando una herramienta médica, que incluye un elemento con forma de bucle eléctricamente conductor que tiene una discontinuidad eléctrica introducida en el mismo para reducir la distorsión de la corriente de Foucault provocada por el elemento con forma de bucle en el campo magnético detectado por el segundo transductor de campo.

También se proporciona un método para fabricar una herramienta médica para operar en un volumen de trabajo de un sistema de seguimiento de posición magnético, el método incluyendo:

formar una primera pluralidad de capas que incluyen un material eléctricamente conductor; y
intercalar la primera pluralidad con una segunda pluralidad de capas que incluyen un material eléctricamente aislante, en donde las capas están dispuestas para reducir la distorsión de la corriente de Foucault en un campo magnético generado por el sistema de seguimiento de posición magnético.

Se proporciona adicionalmente un método para fabricar una herramienta médica para operar en un volumen de trabajo de un sistema de seguimiento de posición magnético, el método incluyendo:

formar un núcleo de la herramienta, el núcleo incluyendo un material ferromagnético; y
cubrir el núcleo con una capa de recubrimiento exterior, la capa de recubrimiento incluyendo un material conductor configurado para producir distorsión de la corriente de Foucault para anular por lo menos parte de la distorsión provocada por el núcleo cuando la herramienta se somete a un campo magnético en el volumen

de trabajo.

Se proporciona además un método para fabricar una herramienta médica para operar en un volumen de trabajo de un sistema de seguimiento de posición magnético, el método incluyendo:

identificar un elemento con forma de bucle eléctricamente conductor en la herramienta; y
introducir una discontinuidad eléctrica en el elemento con forma de bucle, para reducir la distorsión de la corriente de Foucault provocada por el elemento con forma de bucle en un campo magnético generado por el sistema de seguimiento de posición magnético.

La presente invención se entenderá más completamente a partir de la siguiente descripción detallada de las realizaciones de la misma, tomada junto con los dibujos en los que:

**BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

La Fig. 1 es una ilustración pictórica, esquemática de un sistema de seguimiento magnético usado en cirugía, de acuerdo con una realización de la presente invención; y
Las Figs. 2-6 son ilustraciones pictóricas, esquemáticas de herramientas médicas.

**DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES**

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

La Fig. 1es una ilustración pictórica, esquemática de un sistema de seguimiento magnético 20 usado en cirugía, de acuerdo con una realización de la presente invención. Un cirujano 22 realiza un procedimiento médico en un paciente 26 usando una herramienta médica 28. El sistema 20 comprende generadores de campo 32, que generan campos magnéticos a lo largo de un volumen de trabajo predeterminado que comprende el sitio quirúrgico. Los campos se generan en respuesta a las señales de activación generadas por una consola 36. Los campos magnéticos se detectan mediante transductores inalámbricos en miniatura 34 introducidos en el cuerpo del paciente. En el ejemplo mostrado en la Fig. 1, los transductores se instalan en implantes ortopédicos que se implantan en la pierna del paciente.

Cada transductor comprende un sensor de posición que está diseñado para detectar el campo magnético en sus proximidades. Los campos magnéticos generados por los generadores de campo 32 inducen corrientes en los sensores de posición de los transductores 34. En respuesta a las corrientes inducidas, el procesamiento de la señal y los circuitos transmisores en cada transductor generan y transmiten señales de posición que son indicativas de las coordenadas de localización y orientación del transductor.

Las señales de posición son típicamente recibidas por una unidad de control inalámbrica, que está acoplada a un ordenador, ambos localizados en la consola 36. El ordenador procesa las señales de posición recibidas y calcula la localización y las coordenadas de orientación de los transductores 34. Los resultados se presentan típicamente al cirujano en una pantalla 38.

El sistema de seguimiento guía al cirujano en la realización del procedimiento midiendo y presentando las posiciones de los transductores 34. En algunas aplicaciones, un transductor 37 similar a los transductores 34 también se instala en la herramienta 28. En dicha aplicación, el sistema de seguimiento mide y presenta la posición. de la herramienta con respecto a los transductores intracuerpo.

En una realización alternativa, los generadores de campo se instalan en implantes ortopédicos u otros objetos intracuerpo, y los transductores que comprenden sensores de posición están localizados externamente al cuerpo del paciente. En estas realizaciones, los generadores de campo intracuerpo producen campos magnéticos que son detectados y convertidos en señales de posición por los sensores de posición externos. La consola 36 calcula y muestra la posición de los generadores de campo intracuerpo en base a las señales de posición producidas por los sensores de posición externos. En general, tanto los generadores de campo como los sensores de posición son referidos como transductores de campo.

La configuración del sistema 20 mostrada en la Fig. 1 se eligió por el bien de la claridad conceptual. Los métodos y dispositivos divulgados en la presente pueden implementarse junto con cualquier otro sistema de seguimiento de posición magnético adecuado, como los sistemas descritos en las Patentes de Estados Unidos 6.690.963, 6.618.612 y 6.332.089 y las Publicaciones de Solicitud de Patente de Estados Unidos 2002/0065455 A1 y 2004/0068178 A1 citadas anteriormente. En particular, un sistema de seguimiento de posición magnético para aplicaciones ortopédicas se describe en la Solicitud de Patente Provisional de los Estados Unidos Nº 60/550.924, presentada el 5 de marzo de 2004, ahora presentada como Solicitud de Patente de Estados Unidos Nº 11/062.258 presentada el 18 de febrero de 2005. Los principios de la presente invención pueden implementarse de manera similar para reducir la distorsión de campo en los sistemas de seguimiento magnético que se usan para otras

aplicaciones, como la cateterización cardiovascular, la endoscopia y otros tipos de cirugía.

La herramienta 28 puede comprender cualquier herramienta médica o quirúrgica, como la herramienta de inserción de implante ortopédico descrita anteriormente, un bisturí, fórceps, tijeras o pinzas. Adicional o alternativamente, la herramienta 28 puede comprender cualquier otro objeto introducido en el volumen de trabajo, como una mesa de operaciones o partes de la misma, u otras unidades de instrumentación médica.

En muchos casos, las herramientas médicas y quirúrgicas están hechas de metal o comprenden partes metálicas. Adicional o alternativamente, las herramientas comprenden algunas veces partes hechas de materiales ferromagnéticos o materiales que muestran una alta permeabilidad magnética. Para simplificar la explicación, en el contexto de la presente solicitud de patente y en las reivindicaciones, los materiales ferromagnéticos, paramagnéticos y/o metálicos son referidos colectivamente en la presente como materiales que distorsionan el campo. El término "herramienta que distorsiona el campo" se usa para describir herramientas hechas de material que distorsiona el campo, así como herramientas que comprenden partes hechas de tales materiales o que tienen de otra manera algún contenido de material que distorsiona el campo.

REDUCCIÓN DE LA DISTORSIÓN DE LA CORRIENTE DE FOUCAULT

Es bien sabido en la técnica que la presencia de un objeto que distorsiona el campo, como una herramienta metálica, dentro de un campo magnético provoca a menudo que se induzcan corrientes de Foucault en la herramienta. Con más precisión, las corrientes de Foucault se inducen en respuesta a las variaciones en el flujo magnético que fluye a través de la herramienta metálica. Tales variaciones tienen lugar, por ejemplo, cuando la herramienta está en movimiento o cuando cambia el campo magnético. En escenarios prácticos relevantes para los sistemas de seguimiento magnético, las corrientes de Foucault se inducen típicamente en una herramienta metálica cuando el sistema de seguimiento usa un campo magnético alterno (a veces referido como "campo magnético de CA", ya que se genera en respuesta a una señal de impulso de Corriente Alterna).

Las corrientes de Foucault que fluyen en la herramienta toman típicamente la forma de bucles de corriente, que fluyen a través de las superficies metálicas de la herramienta. Estos bucles de corriente generan campos magnéticos secundarios o parásitos. Cuando una herramienta de distorsión de campo está localizada dentro del volumen de trabajo, en las cercanías del transductor 34, el sensor de posición del transductor detecta un campo magnético compuesto. El campo compuesto comprende una superposición vectorial del campo magnético primario generado por los generadores de campo 32 y el campo magnético parásito generado por la herramienta. Como el campo compuesto es diferente del campo primario original, las señales de posición transmitidas por el transductor estarán típicamente distorsionadas. Las señales de posición distorsionadas provocarán típicamente que el ordenador calcule una posición errónea del transductor 34.

La presente divulgación proporciona métodos mejorados para construir la herramienta 28, para reducir el nivel de corrientes de Foucault inducidas en la herramienta cuando se somete al campo magnético primario. El uso de dicha herramienta reduce los errores de seguimiento de posición en comparación con las herramientas conocidas.

La Fig. 2 es una ilustración pictórica esquemática, que muestra una herramienta 39. En el ejemplo de la Fig. 2, la herramienta 39 comprende un par de tijeras hechas de material metálico. Como puede verse en la figura, las asas de las tijeras 39 tienen la forma general de un bucle. Como las corrientes de Foucault fluyen típicamente en trayectorias que tienen la forma de bucles cerrados, los elementos eléctricamente conductores con forma de bucle en la herramienta, como las asas que se muestran en la Fig. 2, son particularmente sensibles a la inducción de corrientes de Foucault. En algunos ejemplos divulgados, se introducen discontinuidades eléctricas, como espacios 40, en las asas de las tijeras, para interrumpir las trayectorias eléctricamente conductoras con forma de bucle cerrado y reducir las corrientes de Foucault.

Las tijeras 39 mostradas en la Fig. 2 se eligen como un ejemplo divulgado ejemplar. Otras herramientas médicas, como los fórceps quirúrgicos, así como otros objetos, comprenden elementos con forma de bucle eléctricamente conductores que pueden formar trayectorias de conducción cerradas para corrientes de Foucault. Introducir discontinuidades eléctricas que rompen la trayectoria de conducción cerrada reduce significativamente las corrientes de Foucault inducidas en tales objetos, reduciendo por tanto la distorsión de campo provocada por el objeto. En algunos ejemplos divulgados, las discontinuidades pueden comprender huecos de aire, huecos rellenos con material eléctricamente aislante, o cualquier otro tipo adecuado de discontinuidad eléctrica.

La Fig. 3 es una ilustración pictórica esquemática que muestra una parte de una herramienta 42. En el ejemplo de la Fig. 3 la herramienta 42 comprende una herramienta que tiene un eje cilíndrico, como un destornillador. La parte mostrada en la figura es el eje de la herramienta. Puede verse que el eje tiene una forma cilíndrica hueca. La sección transversal del eje tiene una forma circular. Los objetos que tienen una sección transversal de bucle cerrado son otro ejemplo de un elemento con forma de bucle eléctricamente conductor cerrado que puede provocar corrientes de Foucault fuertes.

Para minimizar las corrientes de Foucault inducidas en la herramienta 42, el eje se construye para dejar un hueco de aire abierto 44 y evitar la geometría del cilindro completamente cerrada. El elemento con forma de bucle se interrumpe por el hueco 44. Como resultado, el campo magnético parásito generado por la herramienta 42 es significativamente más bajo que el campo generado por una herramienta que tiene una forma equivalente y que comprende una sección transversal eléctricamente conductora totalmente cerrada.

En los ejemplos alternativos divulgados, pueden usarse otros tipos de discontinuidades eléctricas en lugar del hueco de aire 44, como los huecos rellenos con material eléctricamente aislante. Aunque el ejemplo de la Fig. 3 se refiere a un eje cilíndrico de una herramienta, el método de construcción descrito anteriormente puede usarse para construir cualquier otra herramienta o pieza de herramienta adecuada como, por ejemplo, tornillos, taladros, mangos de herramientas, manipuladores y retractores.

La Fig. 4 es una ilustración pictórica esquemática que muestra una parte de una herramienta 46. En el presente ejemplo, la herramienta 46 comprende una herramienta de inserción ortopédica, como la herramienta 28 descrita en la Fig. 1 anterior. La parte mostrada en la figura es el eje de la herramienta. La herramienta 46 comprende una pluralidad de capas laminadas 48. Cada capa 48 comprende típicamente una capa metálica delgada a la que se le da la forma deseada. Las capas adyacentes 48 están separadas eléctricamente por capas eléctricamente aislantes 52. En el ejemplo de la Fig. 4, las capas son planas. Las configuraciones de capas alternativas se describen a continuación.

En un ejemplo divulgado, las capas 52 comprenden material adhesivo eléctricamente aislante que une las capas 48 entre sí, a la vez que proporciona aislamiento eléctrico entre las capas 48. Alternativamente, las capas 40 pueden recubrirse con un recubrimiento eléctricamente aislante adecuado, como esmalte, antes de unirlas. Además, alternativamente, puede usarse cualquier otro proceso de fabricación adecuado para producir una estructura intercalada de capas eléctricamente conductoras 48 y capas eléctricamente aislantes 52. Adicional o alternativamente, puede fabricarse una pila intercalada de capas 48 y 52 con cualquier dimensión conveniente. La pila luego se mecaniza o se procesa de otro modo para proporcionar la forma tridimensional deseada de la herramienta 46.

La Fig. 5 es una ilustración pictórica esquemática que muestra una parte de una herramienta 54. La figura muestra un método alternativo para construir una estructura intercalada de capas eléctricamente conductoras y eléctricamente aislantes que se usan para reducir la distorsión de la corriente de Foucault. La herramienta 54 comprende una herramienta cilíndrica, como un eje de destornillador o una herramienta de inserción de implante ortopédico. A diferencia del ejemplo de la Fig. 4 anterior, en la que las capas se forman en una configuración plana, en el presente ejemplo, las capas eléctricamente conductoras 56 y las capas eléctricamente aislantes 58 están dispuestas en una configuración concéntrica cilíndrica.

La configuración de la capa cilíndrica mostrada en la Fig. 5 es una configuración ejemplar elegida para demostrar un método de construcción en el que las capas eléctricamente conductoras y eléctricamente aislantes de forma anular se intercalan entre sí, rodeando un eje de la herramienta o parte de la herramienta. La estructura puede tener cualquier sección transversal deseada, como una sección transversal circular u ovalada, o cualquier otra forma arbitraria derivada de la geometría de la herramienta.

En algunos ejemplos divulgados, se introducen discontinuidades eléctricas en las capas eléctricamente conductoras 56 para romper los bucles de corrientes de Foucault dentro de las capas. Por ejemplo, la Fig. 5 muestra los huecos longitudinales 60 en las capas 56. Los huecos 60 son similares en estructura y en función a los huecos de aire 44 que se muestran en la Fig. 3 anterior. También pueden introducirse discontinuidades similares en la estructura laminada de la Fig. 4 anterior.

Los métodos de construcción descritos en las Figs. 4 y 5 anteriores reduce significativamente el nivel de corrientes de Foucault inducidas en las herramientas 46 y 54. Como las corrientes de Foucault solo pueden fluir hacia las superficies eléctricamente conductoras, el aislamiento eléctrico proporcionado por las capas eléctricamente aislantes elimina muchas de las superficies potenciales y los bucles de corriente sobre los que pueden fluir las corrientes de Foucault. El campo magnético parásito generado por la herramienta es, por tanto, significativamente más bajo que el campo generado por una herramienta que tiene una forma equivalente y que comprende un único cuerpo eléctricamente conductor.

Para proporcionar una reducción efectiva de la corriente de Foucault, el grosor de las capas eléctricamente conductoras se determina como una función de la conductividad eléctrica del material usado y de la frecuencia del campo magnético de CA primario. Típicamente, se elige un grosor del orden de 1 mm, aunque también pueden usarse otros grosores.

Aunque los métodos de construcción se demuestran en las Figs. 4 y 5 anteriores usando el eje de una herramienta de inserción, estos métodos pueden usarse para construir cualquier otra herramienta u objeto adecuado

para reducir la distorsión de la corriente de Foucault que puede provocar.

En algunos ejemplos divulgados, la distorsión de las corrientes de Foucault de las herramientas construidas usando los métodos descritos en las Figs. 2-5 anteriores puede reducirse adicionalmente seleccionando la composición del material de la herramienta para tener una conductividad eléctrica más baja. Por ejemplo, la construcción de herramientas usando acero inoxidable serie 316 o material similar reduce significativamente la corriente de Foucault inducida en las herramientas.

REDUCCIÓN DE LA DISTORSIÓN EN HERRAMIENTAS FERROMAGNÉTICAS.

Otro tipo de distorsión de campo está asociado con herramientas que comprenden materiales ferromagnéticos, como el hierro. Cuando se introduce una herramienta que distorsiona el campo ferromagnético en el campo magnético de un sistema de seguimiento de posición magnético, el material ferromagnético atrae y distorsiona las líneas del campo magnético en sus proximidades. La distorsión del campo a menudo hace que los sensores de posición en los transductores 34 produzcan señales de posición distorsionadas, que a su vez introducen errores en los cálculos de seguimiento de posición del sistema.

Las realizaciones de la presente invención proporcionan métodos mejorados para construir herramientas médicas, para reducir la distorsión relacionada con el material ferromagnético de la herramienta cuando se somete al campo magnético del sistema de seguimiento de posición. El uso de estas herramientas reduce los errores de seguimiento de posición en comparación con las herramientas conocidas.

La Fig. 6 es una ilustración pictórica esquemática que muestra una parte de una herramienta 64. En este ejemplo, la parte mostrada tiene una forma cilíndrica, como un eje de destornillador o el eje de la herramienta de inserción ortopédica 46 que se muestra en la Fig. 4 anterior. El eje de la herramienta 64 comprende un núcleo 68 hecho de material ferromagnético sólido.

En principio, el método descrito a continuación reduce la distorsión provocada por el material ferromagnético introduciendo intencionalmente una cierta cantidad de distorsión de corrientes de Foucault, que anula por lo menos parte de la distorsión ferromagnética. El núcleo 68 está recubierto con un recubrimiento eléctricamente conductor 72. En algunas realizaciones, el recubrimiento 72 comprende un material eléctricamente conductor que tiene una profundidad de piel poco profunda, como el cobre. Las ranuras longitudinales 74 se forman en la capa de recubrimiento 72 para controlar la formación de bucles de corrientes de Foucault.

Considerar, por ejemplo, un escenario en el que la herramienta 64 se coloca en paralelo al campo magnético primario. Una flecha 78 en la Fig. 6 muestra la dirección del campo primario. El núcleo ferromagnético 68 distorsiona el campo primario al atraer líneas de campo hacia la herramienta, como lo muestra por la flecha 82. El campo distorsionado descrito por la flecha 82 puede representarse por tanto como una suma del campo primario original (flecha 78) y un componente de distorsión mostrado por la flecha 86, que apunta a la herramienta.

El campo distorsionado induce corrientes de Foucault en la capa de recubrimiento 72. Las ranuras 74 controlan la formación de las corrientes de Foucault y dirigen la corriente para que fluya en los bucles de corriente 90 alrededor de las ranuras. Los bucles de corriente 90 a su vez producen campos magnéticos parásitos que son perpendiculares al plano de los bucles. Una flecha 94 muestra la dirección del campo parásito en una localización particular en la superficie de la herramienta. El campo parásito (flecha 94) tiene una dirección opuesta en comparación con el componente de distorsión (flecha 86). Por tanto, el campo parásito producido por la capa de recubrimiento ranurada anula por lo menos parte del componente de distorsión relacionado con el ferromagnético. En general, el campo primario en las cercanías de la herramienta 64 no está distorsionado, como se muestra por la flecha 98.

La configuración mostrada en la Fig. 6 es una configuración ejemplar usada en aras de la claridad conceptual. En realizaciones alternativas, puede usarse cualquier otra configuración de recubrimiento adecuada para introducir una cantidad medida de distorsión de la corriente de Foucault, para anular por lo menos alguna distorsión del campo magnético provocada por materiales ferromagnéticos. En el contexto de la presente solicitud de patente y en las reivindicaciones, el término "ranura" se usa para referirse a una discontinuidad eléctrica en el recubrimiento 68 que tiene cualquier forma o tamaño adecuados usada para dirigir o controlar la formación de bucles de corrientes de Foucault.

El método de construcción descrito en la Fig. 6 puede usarse para reducir la distorsión provocada por otros tipos de objetos ferromagnéticos. Por ejemplo, las partes ferromagnéticas de una mesa de operaciones, sobre la que se encuentra el paciente, pueden recubrirse con una capa de recubrimiento adecuada. Como otro ejemplo, los resortes que generalmente están hechos de materiales ferromagnéticos también pueden recubrirse y tratarse con este método.

MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN COMBINADOS

En algunas realizaciones, pueden combinarse dos o más de los métodos de construcción descritos en las Figs. 2-6 anteriores en la construcción de una herramienta particular. En un proceso de diseño típico, se analiza la geometría de la herramienta, junto con otros requisitos. Se selecciona una combinación de los métodos de construcción que mejor se adapten a la herramienta particular y se aplica en la construcción de la herramienta.

Por ejemplo, los fórceps quirúrgicos pueden construirse usando un material paramagnético delgado y fuerte, como el acero inoxidable de la serie 316 o el titanio. Se pueden introducir huecos en las asas para romper las asas cerradas con forma de bucle. Como otro ejemplo, puede construirse una mesa de operaciones con partes metálicas huecas siempre que sea posible, para minimizar la cantidad de contenido de material que distorsiona el campo. Las partes ferromagnéticas de la mesa se pueden recubrir con una capa de recubrimiento conductora. Se pueden añadir ranuras u otras discontinuidades para romper los bucles de corrientes de Foucault.

En algunas realizaciones, los métodos de construcción descritos en las Figs. 2-6 anteriores también pueden usarse en combinación con métodos para detectar y anular los efectos de las corrientes de Foucault en sistemas de posicionamiento magnético, como los métodos descritos en la Patentes de Estados Unidos 6.147.480 y 5.767669 citadas anteriormente.

Aunque los métodos y dispositivos divulgados abordan principalmente la construcción de instrumentos médicos usados dentro del campo magnético de un sistema de seguimiento de posición, otras aplicaciones pueden usar los principios descritos en la presente. Por ejemplo, pueden fabricarse partes de objetos intracuerpo como implantes ortopédicos, varios instrumentos médicos invasivos, catéteres, endoscopios, gastroscopios, broncoscopios, herramientas de biopsia y agujas usando los métodos divulgados.

## REIVINDICACIONES

**1.**Una herramienta médica para operar en un volumen de trabajo de un sistema de seguimiento de posición magnético, que comprende:

un núcleo que comprende un material ferromagnético; y
una capa de recubrimiento exterior sobre el núcleo, la capa de recubrimiento comprendiendo un material conductor configurado para producir una distorsión de la corriente de Foucault en respuesta al campo magnético para anular por lo menos parte de una distorsión provocada por el núcleo en un campo magnético generado por el sistema de seguimiento de posición magnético en donde la capa de recubrimiento exterior tiene un patrón de ranuras formadas en la misma para controlar la formación de la distorsión de la corriente de Foucault provocada por la capa de recubrimiento y para dirigir las corrientes de Foucault en los bucles de corriente alrededor de las ranuras.

**2.** La herramienta de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la capa de recubrimiento exterior comprende cobre.

**3.** La herramienta de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la herramienta comprende además un elemento con forma de bucle eléctricamente conductor que tiene una discontinuidad eléctrica introducida en el mismo para reducir la distorsión de la corriente de Foucault provocada por el elemento con forma de bucle en el campo magnético generado por el sistema de posición magnética.

**4.** La herramienta de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la herramienta médica comprende una herramienta ortopédica para su uso con implantes ortopédicos.

**5.** Un sistema para el tratamiento de un cuerpo de un paciente, que comprende:
un sistema de seguimiento de posición magnético, que comprende:

un primer transductor de campo, que está dispuesto para generar un campo magnético;
un segundo transductor de campo, que está dispuesto para detectar el campo magnético y generar una señal en respuesta al campo detectado,
en el que uno de los transductores de campo está adaptado para ser acoplado a un objeto para su inserción en el cuerpo; y
una unidad de control, que está dispuesta para procesar la señal para determinar una posición del objeto; y
una herramienta médica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4.

**6.** El sistema de acuerdo con la reivindicación 5, en el que la herramienta médica comprende una herramienta ortopédica y en el que el objeto comprende un implante ortopédico.

**7.** Un método para fabricar una herramienta médica para operar en un volumen de trabajo de un sistema de seguimiento de posición magnético, el método comprendiendo:

formar un núcleo de la herramienta, el núcleo comprendiendo un material ferromagnético; y
recubrir el núcleo con una capa de recubrimiento exterior, la capa de recubrimiento comprendiendo un material conductor configurado para producir distorsión de la corriente de Foucault para anular por lo menos parte de una distorsión provocada por el núcleo cuando se somete la herramienta a un campo magnético en el volumen de trabajo, en donde la capa de recubrimiento exterior tiene un patrón de ranuras formadas en la misma para controlar una formación de la distorsión de la corriente de Foucault provocada por la capa de recubrimiento y para dirigir las corrientes de Foucault en los bucles de corriente alrededor de las ranuras.

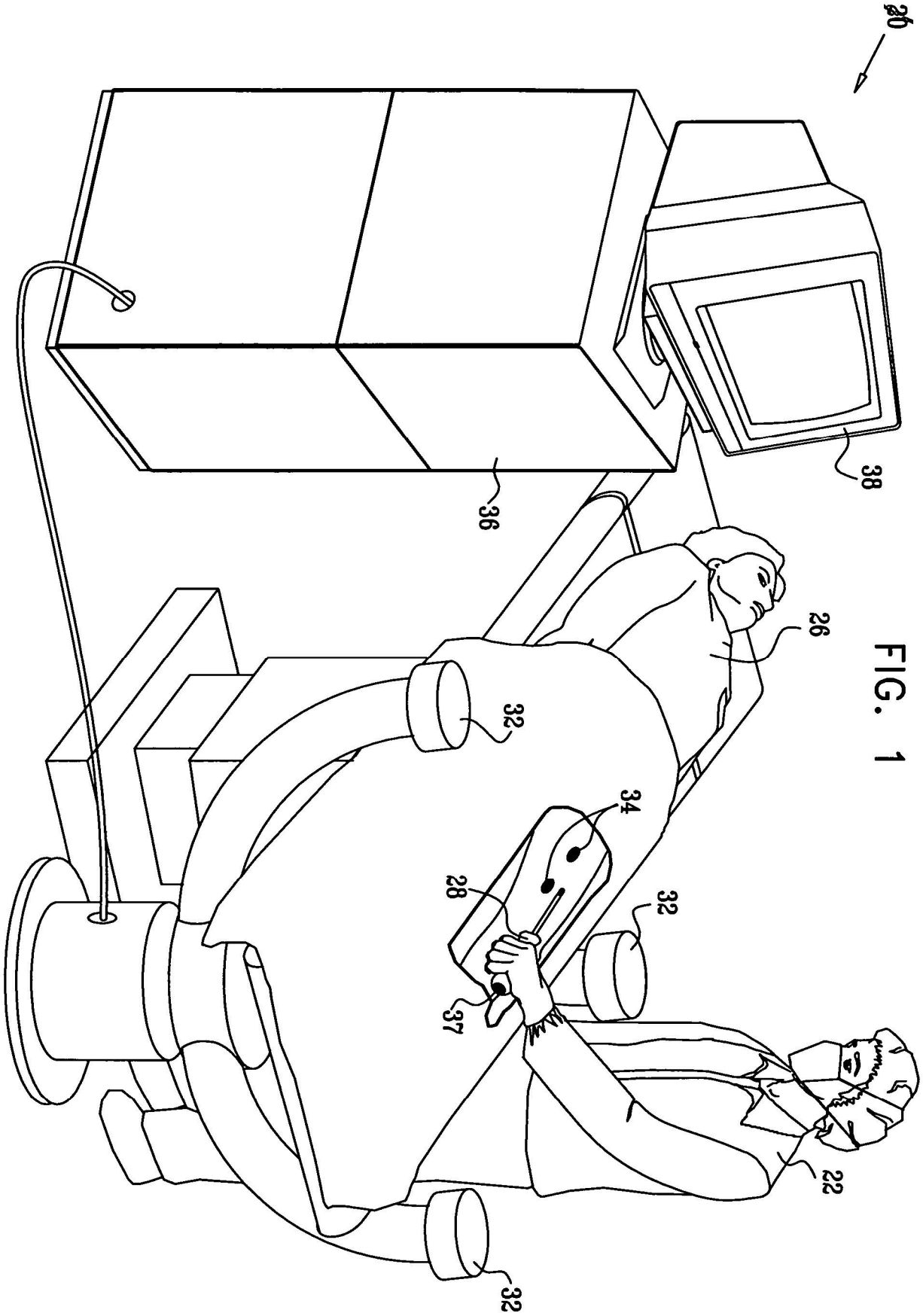



FIG. 1

FIG. 2

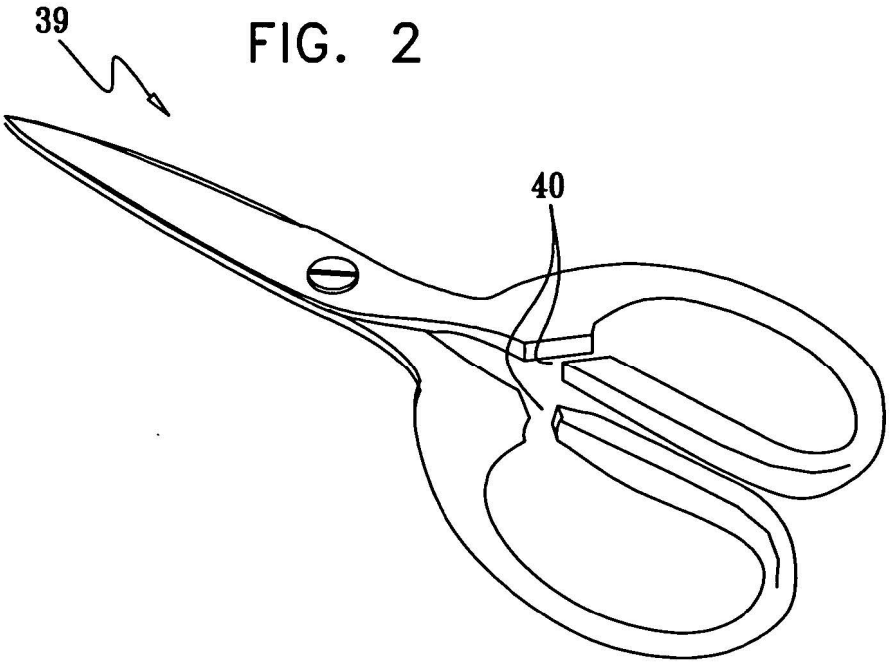



FIG. 3

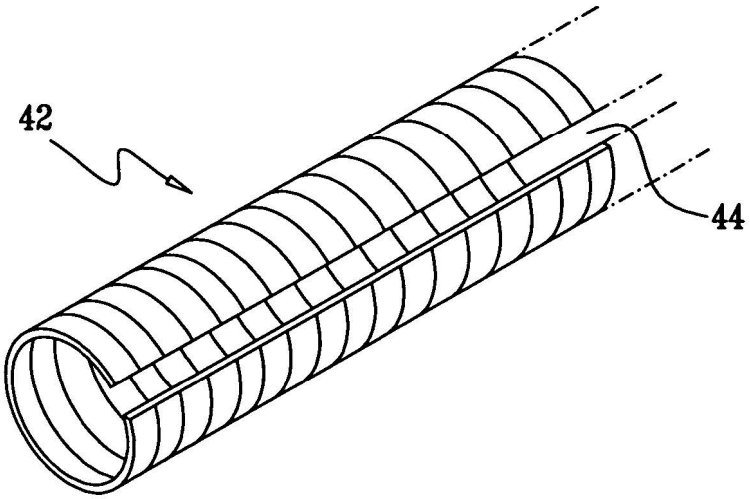


FIG. 4

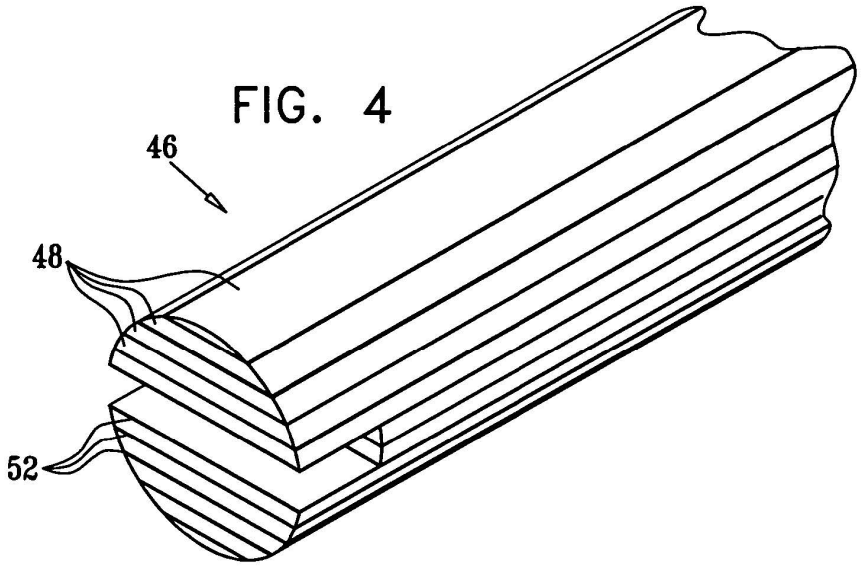
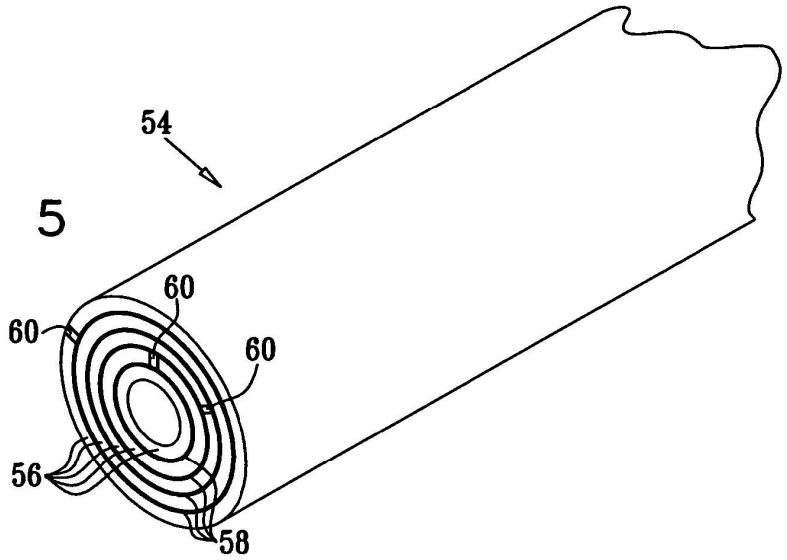



FIG. 5



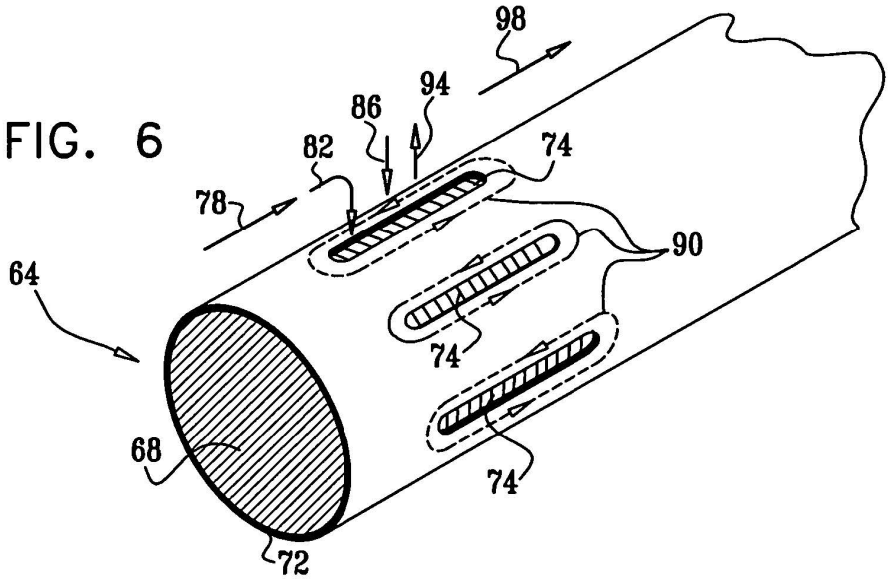


FIG. 6