

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 665 945**

51 Int. Cl.:

G01K 7/36 (2006.01)

G01K 7/38 (2006.01)

G01K 1/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.03.2012 PCT/US2012/028058**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.09.2012 WO12122258**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.03.2012 E 12754370 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.02.2018 EP 2684014**

54 Título: **Sensores de temperatura por microhilos contruidos para eliminar imprecisiones de medición de temperatura relacionadas con tensiones**

30 Prioridad:

09.03.2011 US 201161464682 P
05.03.2012 US 201213411767

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
30.04.2018

73 Titular/es:

TSI TECHNOLOGIES LLC (100.0%)
8441 E. 32nd Street North Suite 110
Wichita, KS 67226, US

72 Inventor/es:

CLOTHIER, BRIAN L.

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 665 945 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

Sensores de temperatura por microhilos contruidos para eliminar imprecisiones de medición de temperatura relacionadas con tensiones.

5

Antecedentes de la invención**Campo de la invención**

10 La presente invención se refiere, en términos generales, a sensores de temperatura mejorados, por microhilos, que están diseñados especialmente para embeberse de manera parcial o completa dentro de un material tratable o curable térmicamente, tal como Plástico Reforzado con Fibras de Carbono (CFRP), otros polímeros, elastómeros, compuestos de caucho, materiales cerámicos curables, cemento, u hormigón, con el fin de detectar de manera exacta la temperatura del material durante el transcurso del tratamiento térmico (por ejemplo, un intervalo de temperaturas pre- y/o post-curado). Más particularmente, la invención se refiere a sensores tales que tienen por lo menos un microhilo primario detector de temperatura, alojado y encajonado dentro de un tubo protector sustancialmente rígido, de extremos cerrados, formado por un material que no polariza magnéticamente, de manera apreciable, las respuestas de remagnetización del(de los) microhilo(s); en formas preferidas, dentro del tubo protector se posiciona una pluralidad de microhilos, que incluye el microhilo primario detector de temperatura y/o un microhilo de calibración y/o un microhilo de referencia. El uso de tubos protectores aísla los microhilos con respecto a tensiones desarrolladas en el material durante su calentamiento o curado, para proporcionar una detección de temperatura más precisa. Además, estos tubos protectores evitan que los microhilos padezcan deformaciones provocadas por la diferencia de las dimensiones post-curado finales del material con respecto a las dimensiones de partida (por ejemplo, debido a contracciones), donde dicha deformación puede alterar las respuestas de remagnetización del microhilo en cualquier temperatura dada y, por lo tanto, provocar mediciones imprecisas de temperatura. Finalmente, estos tubos protectores aíslan los microhilos con respecto a tensiones durante el calentamiento o enfriamiento post-curado del material debido a dilataciones y contracciones, permitiendo así una medición exacta de la temperatura del material o una pieza en cualquier momento post-curado.

30

Descripción de la técnica anterior

35 Las publicaciones de patente US n.º 2007/0263699 titulada "Magnetic Element Temperature Sensors", 2008/0175753 titulada "Microwire-Controlled Autoclave and Method", y 2010/0322283 titulada "Magnetic Element Temperature Sensors", describen la construcción y el funcionamiento generales de sensores de temperaturas por microhilos y un aparato completo detector de temperatura usado con dichos sensores. Hablando en términos generales, estos sensores por microhilos incluyen al menos un microhilo detector de temperatura que comprende un núcleo de aleación metálica amorfa o nanocristalina, en forma de un hilo o cinta alargado, con una cubierta o recubrimiento de vidrio que rodea el núcleo (véase la Fig. 1 de la publicación '753). Los núcleos de aleación metálica de dichos microhilos sensores de temperatura se diseñan cuidadosamente, de manera que los microhilos presenten respuestas de remagnetización características, bajo la influencia de un campo magnético alterno aplicado, y, por otra parte, presentan temperaturas de consigna (habitualmente la temperatura de Curie o un número cualquiera de temperaturas en una región por debajo de la temperatura de Curie), de tal modo que las respuestas de re-magnetización de los microhilos sean significativamente diferentes por debajo o por encima de estas temperaturas. Las respuestas de remagnetización quedan definidas por al menos un impulso corto, detectable, de perturbación del campo magnético, de duración definida. Una vez que se ha alcanzado la temperatura de Curie del microhilo, el voltaje detectado de la respuesta pasa a cero o casi cero.

45

50 Estos sensores por microhilos, anteriores, se usan en combinación con un aparato de detección que incluye una bobina generadora de campo la cual genera un campo magnético alterno interrogador, y una bobina de detección, que detecta las respuestas de remagnetización de los microhilos interrogados. A continuación, estas respuestas se descodifican usando un procesador de señales para generar una salida que representa la temperatura experimentada por los sensores. Por tanto, puede monitorizarse la temperatura experimentada por un material termocurable que tenga un sensor por microhilos embebido en el mismo. Además, esta información de temperatura se puede usar para controlar el proceso de calentamiento.

55

60 Aunque la utilidad de los sensores conocidos de temperatura por microhilos, y de los aparatos de detección relacionados ha sido establecida, se han encontrado ciertos problemas cuando los sensores de la técnica anterior se han embebido de manera permanente dentro de materiales compuestos de CFRP estratificados, no curados, tales como los correspondientes que se usan en la fabricación de piezas de la industria aeroespacial, y que a continuación se les realiza un tratamiento término en un horno o autoclave para curar el compuesto. El objetivo era detectar de manera remota e inalámbrica la temperatura del interior del objeto compuesto durante el proceso de curado, de manera que la información de temperatura pudiera ser usada por un controlador para ajustar las temperaturas del horno/autoclave y/o el tiempo de curado transcurrido en las diversas temperaturas, con el fin de producir un ciclo de curado más eficaz y eficiente.

65

No obstante, en la práctica real se observó que los sensores embebidos de la técnica anterior no proporcionaban una detección de temperatura completamente fiable, cuando se sometían a pruebas comparativas utilizando termopares de Tipo E embebidos. El perfil de temperatura detectado a partir de los sensores de la técnica anterior era, en ciertos casos, significativamente diferente con respecto al obtenido con el uso de los termopares.

El documento US 2011/0038395 A1 divulga un dispositivo sensor de un solo uso en el que un microhilo sensor puede estar situado dentro de una cubierta circundante. La cubierta se diseña usando un material que es sensible a la temperatura en la medida en la que se mueve, junto con el microhilo, desde una posición enroscada inicial a una posición sustancialmente rectilínea cuando se experimenta una cierta condición de temperatura. El dispositivo sensor es operativo para detectar la diferencia de respuesta entre las dos posiciones particulares.

Existe, por consiguiente, una necesidad, en la técnica, de sensores mejorados, por microhilos, que se puedan embeber, al menos parcialmente, dentro de materiales termocurables, tales como compuestos de CFRP u otros materiales, para aportar datos de temperatura exactos durante el proceso de termocurado o proceso exotérmico, así como durante su servicio posteriormente.

Sumario de la invención

La presente invención se refiere a un sensor de temperatura según se define en la reivindicación 1. A partir de las reivindicaciones dependientes se deducen versiones ventajosas de la invención.

La presente invención supera los problemas expuestos en líneas generales anteriormente, y proporciona sensores de temperatura embebibles, mejorados, que proporcionan información de temperatura altamente precisa durante el transcurso de un termocurado o curado de materiales, tales como compuestos de CFRP, otros polímeros, elastómeros, compuestos de caucho, materiales cerámicos curables, cemento, u hormigón. Además, estos sensores prevén una información de temperatura altamente precisa en cualquier momento después del curado, debido a que evitan imprecisiones inducidas por tensiones, provocadas de forma permanente en sensores de la técnica anterior por el proceso de curado.

Un estudio detallado del funcionamiento de sensores por microhilos de la técnica anterior embebidos en compuestos de CFRP, reveló que las tensiones se comunicaban a los sensores embebidos debido a cambios de viscosidad (y un comportamiento relacionado de dilatación/contracción) de los compuestos de CFRP que rodeaban al sensor de microhilos durante el proceso de curado. Estas tensiones daban como resultado imprecisiones aleatorias de temperatura comunicadas por los sensores. Se cree que las tensiones ejercidas sobre los sensores embebidos hacían que cambiase la relación funcional entre los valores normalizados derivados de los microhilos primario y de referencia, dando como resultado imprecisiones aleatorias en temperaturas deducidas. En la medida en la que resulta prácticamente imposible predecir cambios de la viscosidad (y un comportamiento relacionado de dilatación/contracción) de resinas de CFRP de un proceso a otro o cuando se usan resinas diferentes, los sensores de la técnica anterior no podían proporcionar perfiles de temperatura exactos en estas circunstancias.

Además, se ha observado que existe una necesidad de estudiar la temperatura dentro de piezas compuestas de CFRP y de otras piezas curadas, tales como neumáticos de automóviles, cabinas de ducha, estructuras de cemento/hormigón, y muchas otras. Puesto que es imposible tener en cuenta las diversas tensiones y deformaciones que comunicará cada pieza curada individual a microhilos sensores de temperatura no blindados, debido no solamente al encogimiento durante el curado sino, también, a la dilatación/contracción en su uso operativo en diversas temperaturas de funcionamiento, es importante un aislamiento con respecto a dichas tensiones y deformaciones desconocidas, para un sensor con capacidad de usarse de manera general en innumerables materiales, productos, y aplicaciones de productos.

La Figura 1 es un resultado de una prueba representativa de un ensayo de curado en autoclave en donde un sensor de microhilo dual de la técnica anterior (que comprende un microhilo primario detector de temperatura y un microhilo de referencia) se embebió dentro de las capas de un panel de CFRP, seguido por un curado que conllevaba una elevación de la temperatura ambiente dentro de la autoclave de una manera predeterminada. En la prueba, también se embebió un termopar de Tipo E dentro del material de CFRP de manera directamente adyacente a y dentro de la misma capa que el sensor de microhilos embebido de la técnica anterior. A continuación, el perfil de temperatura deducido usando el sensor de microhilos embebido se comparó con los datos derivados del termopar.

En referencia a la Fig. 1, la curva designada con "TC004" representaba el perfil derivado del termopar, el cual se consideró como exacto. La curva designada como "Canal 4" representaba el perfil de temperatura deducido del sensor de microhilos de la técnica anterior. Obsérvense los periodos aleatorios de imprecisión usando el sensor de microhilos, especialmente durante la primera parte del ciclo de curado en el que la temperatura expresada del termopar estaba por debajo de 350 °F (tiempo de funcionamiento inferior a 140 minutos). La parte en general plana de la curva TC004 a aproximadamente 390 °F es debida al hecho de que se alcanzó la temperatura de Curie del sensor primario de microhilos.

Para superar estos problemas, la invención proporciona un sensor mejorado de temperatura de un material, que presenta las características de la reivindicación 1. Comprende un tubo exterior de extremos cerrados y un conjunto de sensor dentro del tubo. El conjunto de sensor incluye por lo menos un microhilo primario detector de temperatura magnéticamente susceptible, alargado, que tiene una respuesta de remagnetización bajo la influencia de un campo magnético alterno aplicado y que se puede hacer funcionar para detectar la temperatura del material sobre un intervalo de temperaturas seleccionado. La respuesta de remagnetización del microhilo primario queda definida por al menos un impulso detectable, corto, de perturbación del campo magnético, de duración definida y diferente por encima y por debajo de una temperatura de consigna del microhilo primario, en donde la temperatura de consigna del microhilo primario se encuentra en o por debajo de la temperatura de Curie del microhilo primario. En una forma de realización preferida, el sensor se diseña para colocarse, al menos parcialmente, dentro de un material termocurable con el fin de detectar de manera precisa la temperatura de dicho material durante su curado sobre un intervalo de temperaturas de curado.

El tubo protector está formado a partir de un material que no polariza magnéticamente de manera apreciable el microhilo primario, de tal manera que la presencia del tubo no altera significativamente las respuestas de remagnetización del microhilo primario y de ninguno de los microhilos secundarios que estén presentes. El tubo se puede hacer funcionar para evitar sustancialmente que las fuerzas ejercidas sobre el tubo por el material durante su curado, deformen el conjunto de sensor dentro del tubo.

El conjunto de sensor preferido incluye además un microhilo secundario detector de temperatura magnéticamente susceptible, alargado, que tiene una respuesta de remagnetización diferente a la respuesta de remagnetización del microhilo primario bajo la influencia del campo magnético alterno aplicado, y que se puede hacer funcionar para detectar la temperatura del material sobre al menos una parte del intervalo de temperaturas seleccionado. La respuesta de remagnetización del microhilo secundario queda definida por al menos un impulso detectable, corto, de perturbación de campo magnético, de duración definida y diferente por encima y por debajo de una temperatura de consigna del microhilo secundario, donde la temperatura de consigna del microhilo secundario es inferior o igual a la temperatura de consigna de dicho microhilo primario.

En formas preferidas, el conjunto de microhilos incluye además un microhilo de referencia alargado, magnéticamente susceptible, que tiene una respuesta de remagnetización bajo la influencia del campo magnético alterno aplicado que queda definida por al menos un impulso detectable, corto, de perturbación del campo magnético, de duración definida. La respuesta de remagnetización del microhilo de referencia es sustancialmente constante durante todo el intervalo de temperaturas seleccionado.

Ventajosamente se fabrican conjuntos de múltiples microhilos pegando entre sí los microhilos respectivos con el fin de formar un haz. Esto garantiza que se mantiene la orientación relativa de los microhilos. Puede usarse cualquier material adhesivo conveniente para crear el conjunto de haz, tal como un adhesivo de silicona. Se prefiere también recubrir el conjunto de haz adherido, con una capa de lubricación, particularmente un lubricante seco. Esto garantiza que el conjunto de haz completo pueda moverse libremente dentro del tubo protector.

En otro sensor de temperatura preferido que comprende un microhilo primario detector de temperatura y un microhilo de referencia, el microhilo primario del sensor se puede normalizar para convertir el sensor en insensible a variaciones de la distancia entre el sensor y el detector (es decir, donde dicha variación puede cambiar el área integrada del impulso de voltaje detectado de cada microhilo individual). En un sensor de este tipo, la integral con respecto al tiempo, del impulso de voltaje detectado del microhilo primario a cualquier temperatura dada dentro del intervalo de temperaturas seleccionado, tiene una primera magnitud, y la integral correspondiente con respecto al tiempo, del impulso de voltaje detectado del microhilo de referencia, es una segunda magnitud. Usando estas magnitudes, puede obtenerse un valor de cociente, el cual se usa con una descodificación adecuada para determinar la temperatura del material durante el curado o tratamiento térmico.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es una gráfica representativa de una prueba en autoclave en la que un sensor de temperatura de dos microhilos de la técnica anterior está embebido dentro de un panel de CFRP compuesto adyacente a un termopar de Tipo E, para ilustrar las imprecisiones de temperatura del sensor de la técnica anterior en este contexto;

la Fig. 2 es una vista ampliada en sección vertical, que representa un sensor de temperatura preferido de 3 microhilos de acuerdo con la invención;

la Fig. 3 es una vista ampliada en sección vertical que representa un sensor de temperatura de dos microhilos de acuerdo con la invención;

la Fig. 4 es una gráfica representativa de una prueba en autoclave, en donde un sensor de temperatura de dos microhilos de acuerdo con la invención se embebió con un panel de CFRP compuesto adyacente a un termopar

de Tipo E, para ilustrar la precisión de la detección de temperatura del sensor de microhilos, incluso bajo las tensiones inducidas que se producen durante el curado del panel de CFRP;

5 la Fig. 5 es una vista parcial que ilustra un sensor de acuerdo con la invención, embebido con un material termocurable; y

la Fig. 6 es un diagrama de bloques esquemático de un sistema completo de detección de temperatura que hace uso del sensor mejorado de la invención.

10 **Descripción detallada de la forma de realización preferida**

Volviendo a continuación a los dibujos, los sensores resistentes a tensiones, mejorados, 10, de la invención están constituidos, en términos generales, por un tubo protector exterior de extremos cerrados 12 que aloja un conjunto de microhilos 14. El conjunto 14 comprende por lo menos un microhilo primario detector de temperatura 16, y, ventajosamente, por lo menos un, y, más preferentemente, dos, microhilos diferentes, adicionales, llevando a cabo cada uno de los microhilos adicionales una función independiente. Específicamente, los microhilos adicionales comprenden un microhilo de referencia 18 y/o un microhilo de calibración 20. De este modo, cada conjunto 14 incluye siempre un microhilo primario detector de temperatura 16, y, preferentemente, o bien un microhilo de referencia 18, o un microhilo de calibración 20, o ambos.

20 Los microhilos 16, 18 y 20 se forman, todos ellos, con metal amorfo o nanocristalino, y, preferentemente, se recubren con vidrio. Las diferentes funciones de los microhilos respectivos, que se explicarán de forma más detallada posteriormente, se obtienen mediante una selección adecuada de las aleaciones usadas en la fabricación de los microhilos. Los microhilos 16, 18 y 20 son del tipo y de la configuración generales de los microhilos descritos en las publicaciones de patente de Estados Unidos antes mencionadas n.º 2007/0263699, 2008/0175753, y 2010/0322283.

30 Los sensores 10 de acuerdo con la invención se usan, típicamente, dentro de un sistema completo de detección de temperatura inalámbrico 22 (Fig. 6). La Figura 5 ilustra un sensor 10 embebido totalmente dentro de un material curable o tratable térmicamente 24. La bobina generadora de campo 30 y la bobina receptora de campo 32 del aparato ilustrado en la Fig. 6 se colocan cerca del material 24 y del sensor embebido 10. Así, el sistema 22 incluye el sensor 10, así como un dispositivo detector 26. El dispositivo 26 tiene una unidad transmisora de campo magnético alterno en forma de un generador de frecuencia 28 acoplado a una bobina generadora de campo 30, de tal manera que la unidad transmisora se pueda hacer funcionar para crear un campo magnético alterno con el fin de interrogar al sensor 10 dentro del material 24. El dispositivo 26 incluye, además, una bobina receptora de campo 32 acoplada de forma operativa a una unidad de procesado de señales 34 equipada de puertos de comunicación 36 y 38, y se puede acoplar de manera operativa al generador de frecuencia 28 por medio de la conexión 40. Adicionalmente, el generador de frecuencia 28 puede estar equipado de una entrada opcional 42 que permita un control remoto del generador 28. También puede estar acoplado a la unidad de procesado 34 un módulo de visualización de temperatura 44 opcional.

45 La unidad de procesado de señales 34 funciona usando un algoritmo de descodificación que tiene la capacidad de descodificar la información de perturbación del campo magnético recibida al interrogar al sensor 10. A continuación, la información descodificada se puede visualizar en el módulo de visualización 44 y/o se puede usar como parte de un bucle de realimentación para controlar cualquier dispositivo externo en comunicación con el dispositivo detector 26. El algoritmo de descodificación puede presentarse en forma de una o más tablas de consulta, o un algoritmo de cálculo de temperatura sin información de tablas de consulta.

50 **Tubo protector 12**

El tubo protector 12 está formado a partir de cualquier material que tenga la suficiente integridad estructural para proteger el conjunto interno de microhilos 14, y que tenga una magnetización de casi cero o cero. Es importante que el tubo 12 no polarice magnéticamente los microhilos que forman el conjunto 14, para no alterar las respuestas de remagnetización de los mismos durante la detección de temperatura. Los materiales adecuados para el tubo 12 incluyen metales paramagnéticos, aleaciones metálicas con magnetización casi cero o cero, vidrio, cerámica y polímeros de resina sintética con resistencia a altas temperaturas. El material más preferido usando en la fabricación del tubo 12 es metal de nitinol (NiTi), el cual es una aleación superelástica con memoria de forma que está disponible comercialmente en forma de tubo en la Memry Corporation como tubo Alloy BB. Este material es el preferido debido a que es resistente a retorcimientos y resiste, además, cambios de forma. El tubo representado 12 de los dibujos se formó con tubo de nitinol BB (producto n.º DM5408) con un diámetro interior de 0,178 mm (0,007 pulgadas) y un diámetro exterior de 0,254 mm (0,010 pulgadas). Preferentemente, el tubo protector tiene una longitud de aproximadamente 20 a 45 mm, más preferentemente de aproximadamente 25 a 35 mm, y, con la mayor preferencia, aproximadamente 32 mm. Después de que el conjunto de microhilos 14 se posiciona dentro del tubo cortado, sus extremos se cierran por crimpado, soldadura, soldadura fuerte, encolado o sellado con láser; la forma de cierre del tubo no es significativa siempre que se proporcione un sellado suficiente para evitar la entrada de material extraño en el interior del tubo protector.

En formas preferidas, el diámetro interior y la longitud del tubo 14 deben ser suficientes para permitir un movimiento libre del conjunto de microhilos 14 en su interior, permitiendo que este último se deslice y se mueva lateralmente a una extensión limitada. Esto garantiza que no se transfiera al conjunto de microhilos interior 14 ninguna fuerza externa experimentada por el tubo 12.

Microhilo primario detector de temperatura 16

La función del microhilo 16 es proporcionar una respuesta de remagnetización sensible a la temperatura, magnéticamente susceptible, bajo la influencia de un campo magnético alterno aplicado, sobre al menos una parte del intervalo de temperaturas que se desea medir con el sensor de temperatura, y, de manera preferente, sustancialmente por todo el intervalo completo de temperaturas. Esta respuesta queda definida por al menos un impulso detectable, corto, de perturbación de campo magnético, de duración definida, y es diferente por encima y por debajo de la temperatura de consigna (típicamente, la temperatura de Curie) del sensor de microhilos 16. Estas respuestas, normalmente, son detectables como impulsos de voltaje definidos, por la antena de detección y su dispositivo detector asociado. Los impulsos de voltaje detectados son provocados por la remagnetización (cambio rápido de la polaridad magnética de una polarización magnética biestable a la otra) del microhilo cuando este es interrogado por el campo magnético alterno externo. Parámetros detectables de los impulsos de voltaje detectados, tales como la amplitud del voltaje de pico, la forma del impulso, y la duración, cambian con la temperatura del microhilo 16 (estos mismos fenómenos de detección se aplican también a los otros microhilos dados a conocer en la presente). Habitualmente, el microhilo 16 funcionará sobre temperaturas desde por debajo de la temperatura ambiente hasta la temperatura de Curie del microhilo 16 (habitualmente inferior a 400°C). Cuando el sensor 16 se use para detectar temperaturas durante un tratamiento térmico (por ejemplo, termocurado) de un material, el intervalo de temperaturas sería el intervalo de temperaturas correspondiente, o una parte del intervalo que resulte especialmente interesante.

Durante todo el intervalo de temperaturas seleccionado, para un microhilo primario dado 16, la respuesta de remagnetización de este último cambia de forma cuando se representa como un voltaje de impulso de respuesta detectado con respecto al tiempo. Por otra parte, el área integrada del impulso de remagnetización se reduce gradualmente y de una manera predecible, repetible y calibrable a medida que se incrementa la temperatura experimentada por el microhilo 16, de tal modo que, a cualquier temperatura dada, el área integrada calculada proporciona un valor de una magnitud. Cuando la temperatura experimentada por el microhilo 16 alcanza o supera la temperatura de Curie del mismo, ya no hay ningún impulso de voltaje detectable, y por lo tanto, el valor de la magnitud pasa a cero o casi cero. En general, el microhilo 16 tiene una sensibilidad mayor a la medición (mayor cambio del valor de la magnitud por cada grado de cambio de temperatura) durante todo un intervalo de temperaturas corto (por ejemplo, de 40 a 60 °C) por debajo de su temperatura de Curie, y tiene una sensibilidad a la medición menor por debajo de este intervalo de temperaturas corto.

Los microhilos preferidos 16 se presentan en forma de hilos o cintas alargadas de aleación metálica amorfa o nanocrystalina 46 que tienen una cubierta o recubrimiento de vidrio 48 a todo lo largo de los mismos. Los microhilos 16 tienen una longitud inferior a la longitud del tubo protector 14, y, preferentemente, de aproximadamente 20 a 30 mm, más preferentemente de aproximadamente 28 mm; el diámetro del microhilo 16 sería, de manera preferente, de hasta aproximadamente 100 micras. La aleación seleccionada para el microhilo 16 (y, también para los otros microhilos 18 y 20) se basa, preferentemente, en Fe o Co y contiene Cr, con ajustes en el porcentaje atómico de Cr que sirven para proporcionar las propiedades magnéticas requeridas que se desean. Por ejemplo, en aleaciones basadas en hierro (Fe_{80-x}Cr_x) (PC) 20, la cantidad de cromo tiene un efecto considerable sobre sus propiedades magnéticas. Un aumento de Cr hace que se reduzcan las temperaturas de Curie, los campos hiperfinos medios, y las magnetizaciones de saturación de los microhilos. Otros cambios de orden químico en aleaciones basadas en Fe y basadas en Co también se pueden utilizar para alterar las características magnéticas de los microhilos. Por ejemplo, el Co puede sustituir al Fe en ciertas aleaciones de FCZBN, y las temperaturas de Curie resultantes presentan un comportamiento de tipo sinusoidal con el contenido creciente de Co. Pueden obtenerse electrolíticamente aleaciones amorfas de Co-P con un alto contenido de P. Las temperaturas de Curie de estas aleaciones presentan un comportamiento lineal en la temperatura de Curie con respecto a la composición hasta entre un 28 y un 29% de P, y para concentraciones mayores de P, se obtiene una temperatura de Curie constante. Estos tipos de modificaciones de las aleaciones sirven para alterar las propiedades de remagnetización de los microhilos de maneras predecibles son bien conocidas para aquellos versados en la materia.

Aunque las formas de realización representadas de la presente invención hacen uso de solamente un único microhilo primario sensible a la temperatura 16, si se desea puede usarse una pluralidad de dichos microhilos. En tales casos, al menos ciertos de los microhilos sensores de temperatura 16 tienen temperaturas de consigna o de Curie diferentes en comparación con otros de los microhilos sensores de temperatura. Seleccionando las diferentes temperaturas de consigna para los microhilos 16, es posible proporcionar sensores con sensibilidades mejoradas.

Microhilo de referencia 18

El microhilo de referencia 18 es similar al microhilo primario 16 en cuanto a forma, diámetro y longitud, y se fabrica también como una aleación de metal amorfo o nanocristalino recubierta con vidrio, presentando, así, un hilo o cinta 50 y un recubrimiento de vidrio 52. La diferencia entre el microhilo de referencia 18 y el microhilo primario 16 reside en sus propiedades magnéticas, que son el resultado de la utilización de una aleación diferente en comparación con el microhilo primario 16.

La respuesta de remagnetización del microhilo de referencia 18 permanece sustancialmente constante durante parte o la totalidad del intervalo de temperaturas deseado que se selecciona para el microhilo primario 16, es decir, su respuesta de voltaje detectado con respecto al tiempo durante todo este intervalo es sustancialmente la misma, suponiendo que la distancia entre el sensor 10 y la bobina 32 permanece constante. Por lo tanto, el microhilo de referencia 18 no está diseñado como un microhilo detector de temperatura. Sin embargo, exactamente como en el caso del microhilo primario 16, el microhilo de referencia 18 tiene una respuesta de remagnetización característica bajo la influencia de un campo magnético alterno aplicado, en forma de por lo menos un impulso detectable, corto, de perturbación del campo magnético de duración definida. No obstante, a diferencia del microhilo primario 16, la respuesta de remagnetización del microhilo de referencia 18 es sustancialmente constante durante al menos una parte del intervalo de temperaturas de funcionamiento del microhilo primario, y, preferentemente, durante el intervalo de temperaturas completo.

En el caso de que la distancia entre el sensor 10 y la bobina 32 cambie, las respuestas de remagnetización correspondientes de los microhilos primario y de referencia cambiarán, junto con las áreas integradas respectivas de sus impulsos de voltaje de remagnetización. Esto puede derivar en una detección errónea de la temperatura si la unidad de procesado de señales 34 usa solamente el área integrada (o un valor derivado) del microhilo primario para calcular la temperatura del sensor. No obstante, las respuestas de los microhilos 16 y 18 variarán de una manera proporcionalmente constante, es decir, las respuestas de remagnetización de los microhilos 16 y 18 variarán en tándem. Por consiguiente, el microhilo primario 16 se puede normalizar (utilizando el área integrada del microhilo de referencia 18 como divisor) para convertirlo en sustancialmente insensible a cambios de distancia entre el mismo y la bobina 32. A su vez, esto permite que el sensor 10 señalice temperaturas precisas con independencia de dichos cambios. La normalización se logra, preferentemente, calculando un valor de cociente con la utilización del cociente de los valores de la magnitud integrada para los microhilos primario y de referencia 16 y 18, respectivamente, y usando este valor de cociente, en parte, para determinar la temperatura real experimentada por el sensor 10. El valor de cociente se determina, preferentemente, dividiendo el área integrada de la respuesta del microhilo primario en cada intervalo de interrogación, por el área integrada de la respuesta del microhilo de referencia en cada uno de estos intervalos. No obstante, podrían concebirse otros valores de cociente, tales como invirtiendo el numerador y el denominador de la técnica preferida. El uso de un esquema de normalización del tipo mencionado garantiza que el valor de cociente para cada temperatura dentro del intervalo permanece sustancialmente constante con independencia de las diferencias de separación entre el sensor 10 y la bobina 32.

Microhilo de calibración 20

El microhilo de calibración 20 es nuevamente similar al microhilo primario 16 en cuanto a forma, diámetro y longitud, con un hilo o cinta alargado de aleación metálica amorfa o nanocristalina 54 y un recubrimiento de vidrio circundante 56. El microhilo 20 tiene una temperatura de Curie inferior o igual a la temperatura de consigna del microhilo primario 16; preferentemente, la temperatura de Curie establecida es significativamente inferior a la correspondiente del microhilo primario 16. El microhilo de calibración 20 tiene, también, una respuesta de remagnetización característica bajo la influencia de un campo magnético alterno aplicado en forma de al menos un impulso detectable, corto, de perturbación del campo magnético de duración definida, por encima y por debajo de su temperatura de consigna.

Se apreciará, así, que el propio microhilo de calibración 20 es un microhilo detector de temperatura, aunque, en formas preferidas, su temperatura de Curie está sustancialmente por debajo de la temperatura de consigna o de Curie del microhilo primario 16. El microhilo de calibración 20 puede actuar, por tanto, como elemento de calibración para el microhilo primario 16. Cuando se alcanza la temperatura de Curie del microhilo de calibración 20, el mismo deja de generar cualquier respuesta de remagnetización significativa. Considerando el hecho de que la temperatura de Curie del microhilo de calibración 20 es conocida, cuando cesa la respuesta de remagnetización del microhilo de calibración 20, es seguro que la temperatura experimentada por el sensor 10 se encuentra en esa temperatura conocida. Por lo tanto, la información de salida de temperatura obtenida a partir del microhilo primario 16 se puede ajustar, según sea necesario, usando el procesador de señales 34 y el algoritmo adecuado. Adicionalmente, teniendo en cuenta el hecho de que la sensibilidad de temperatura del microhilo de calibración 20 tiene el nivel más alto durante un intervalo de temperatura corto por debajo de su temperatura de Curie, el área integrada, que cambia rápidamente, del microhilo de calibración 20, se puede usar para mejorar la sensibilidad de temperatura del sensor 10 durante este intervalo corto de temperaturas.

Conjunto de microhilos 14

La Figura 3 ilustra un conjunto de dos microhilos 14 que comprende un microhilo primario 16 y un microhilo de referencia 18, mientras que la Fig. 2 representa el conjunto de tres microhilos 14a preferido que comprende el microhilo 16, un microhilo de referencia 18, y el microhilo de calibración 20. En cada uno de los casos, el conjunto 14 o 14a está alojado dentro del tubo protector 12, para proporcionar, así, un sensor de microhilo dual 10 (Fig. 3), o un sensor de tres microhilos 10a (Fig. 2).

En cualquiera de los casos del conjunto 14 o 14a, es preferible que los microhilos del mismo se unan permanentemente entre sí usando un adhesivo flexible de alta temperatura 58 para crear, de este modo, un "haz" de los microhilos. El adhesivo 58 es, preferentemente, un adhesivo de silicona, tal como el adhesivo de Silicona Flexible Momentive RTV 116; no obstante, también pueden utilizarse otros adhesivos. En la práctica preferida, el adhesivo 58 se aplica con moderación, de tal manera que en torno a cada uno de los microhilos se dispone una película mínima de adhesivo. Antes de que el adhesivo 58 se haya curado, se prefiere aplicar un lubricante seco 60 en la superficie exterior del adhesivo 58. El lubricante seco 60 tiene, preferentemente, un tamaño de partícula muy pequeño, de manera que su aplicación no hace que aumente apreciablemente el tamaño en sección transversal del conjunto. El lubricante seco 60 puede ser cualquiera de entre una serie de polvos lubricantes secos conocidos que están disponibles comercialmente, por ejemplo, polvo de grafito (preferentemente de malla 325 o más fino), polvo de nitruro de boro hexagonal que tenga, preferentemente, partículas de un diámetro inferior a 5 micras, tal como el disponible en Momentive Performance Materials, o polvo de disulfuro de molibdeno Molykote[®] de Dow Corning. En procedimientos de fabricación, el conjunto recubierto con adhesivo de silicona húmedo se cubre con un exceso de polvo de lubricante seco seleccionado, hasta que la longitud completa de la superficie húmeda queda recubierta con el lubricante seco. Una vez que el conjunto 14 se ha recubierto completamente con lubricante seco, a continuación se cura en un horno a la temperatura de curado especificada del fabricante del adhesivo (por ejemplo, 450°F durante una hora). Llegado este momento, el conjunto 14 o 14a está listo para introducirse en el tubo protector 12, seguido por un cierre de los extremos del tubo, tal como se ha descrito previamente.

Preferentemente, el diámetro total del conjunto de microhilos 14 o 14a se reduce al mínimo para permitir el movimiento libre del conjunto 14 o 14a dentro del tubo 12. En el caso del conjunto de tres microhilos 14a, el diámetro efectivo no supera las 85 micras. Por ello, existe un volumen libre considerable dentro del tubo 12, que permite, de este modo, que el conjunto 14a se mueva libremente dentro del tubo 12.

Detección de temperatura usando los sensores de la invención

La Figura 4 es una representación gráfica de una prueba efectuada de una manera similar a la correspondiente representada en la Fig. 1, usando los sensores mejorados 10 de la invención. Específicamente, un sensor de temperatura de dos microhilos 10 que tenía un conjunto de microhilos 14 recubierto con lubricante seco de polvo de disulfuro de molibdeno y encajonado dentro de un tubo de nitinol 12 se sometió a prueba comparativamente con respecto a un termopar de Tipo E. El sensor 10 y el termopar se embebieron dentro de la misma capa de un panel compuesto de CFRP, y a continuación, el panel se curó térmicamente de la manera convencional. Durante el curado, se recopilaron los datos de temperatura obtenidos a partir del sensor 10 y del termopar. La curva designada con "TC001" era los datos obtenidos del termopar, mientras que la curva "Canal 1" era los datos de temperatura deducidos, del sensor 10. Una revisión detallada de la Fig. 4 confirma que el sensor de microhilos proporcionó datos de temperatura esencialmente idénticos en comparación con el termopar.

REIVINDICACIONES

1. Sensor de temperatura de materiales (10) que comprende:

5 un tubo exterior (12), y

un conjunto de sensor (14) dentro de dicho tubo que incluye un microhilo primario alargado detector de temperatura, magnéticamente susceptible (16) que tiene una respuesta de remagnetización bajo la influencia de un campo magnético alterno aplicado y que es operativo para detectar la temperatura de dicho material sobre un intervalo de temperaturas seleccionado, siendo dicha respuesta de remagnetización del microhilo primario definida por al menos un impulso detectable, corto, de perturbación del campo magnético, de duración definida, y diferente por encima y por debajo de una temperatura de consigna del microhilo primario, situándose dicha temperatura de consigna del microhilo primario en o por debajo de la temperatura de Curie del microhilo primario (16),

15 estando dicho tubo (12) formado por una sustancia que no polariza magnéticamente de manera apreciable dicho microhilo primario (16), de tal manera que la presencia de dicho tubo (12) no altere significativamente las respuestas de remagnetización de dicho microhilo primario (16),

20 siendo dicho tubo (12) sustancialmente rígido y estando formado a partir de una sustancia que ofrece resistencia a cambios de la forma del tubo, siendo dicha sustancia seleccionada de entre el grupo que consiste en metales paramagnéticos, metales con magnetización casi cero o cero, vidrios, cerámica y polímeros de resina sintética resistentes a altas temperaturas, siendo dicho tubo (12) operativo para evitar sustancialmente que las fuerzas ejercidas sobre el tubo (12) por el material cuya temperatura se está detectando, deformen dicho conjunto de sensor (14) dentro de dicho tubo (12),

25 caracterizado por que

30 dicho tubo (12) tiene los extremos cerrados,

dicho conjunto de sensor (14) además incluye un microhilo secundario alargado detector de temperatura, magnéticamente susceptible, (18 o 20) que tiene una respuesta de remagnetización diferente a la respuesta de remagnetización de dicho microhilo primario (16) bajo la influencia de dicho campo magnético alterno aplicado, estando dicha respuesta de remagnetización del microhilo secundario definida por al menos un impulso detectable, corto de perturbación del campo magnético, de duración definida, y diferente por encima y por debajo de una temperatura de consigna del microhilo secundario, y

40 dichos microhilos primario y secundario (16, 18 o 20) están adheridos entre sí para formar un haz de microhilos, pudiendo dicho haz ser operativo para mantener las posiciones relativas de los microhilos primario y secundario (16, 18 o 20) dentro de dicho tubo (12).

2. Sensor de temperatura de la reivindicación 1, siendo dicho microhilo secundario (18 ó 20) un microhilo de referencia (18).

45 3. Sensor de temperatura de la reivindicación 2, incluyendo dicho conjunto (14) dichos microhilos primario, de referencia, y de calibración (16, 18, 20), estando dichos microhilos (16, 18, 20) adheridos entre sí para formar un haz de microhilos, pudiéndose hacer funcionar dicho haz para mantener las posiciones relativas de los microhilos primario, de referencia y de calibración (16, 18, 20) dentro de dicho tubo.

50 4. Sensor de temperatura de la reivindicación 1, en el que:

dicho impulso del microhilo primario es detectable como un impulso de voltaje,

55 la integral con respecto al tiempo de dicho impulso de voltaje detectado del microhilo primario a cualquier temperatura de material dada dentro de un intervalo de temperaturas de curado tiene una primera magnitud; dicho microhilo secundario es un microhilo de referencia magnéticamente susceptible (18) que tiene una respuesta de remagnetización diferente a la respuesta de remagnetización de dicho microhilo primario (16) bajo la influencia de dicho campo magnético alterno aplicado, siendo dicha respuesta de remagnetización del microhilo de referencia definida por al menos un impulso detectable, corto de perturbación del campo magnético de duración definida, siendo dicho impulso del microhilo de referencia detectable como un impulso de voltaje, siendo dicha respuesta de remagnetización del microhilo sustancialmente constante durante la totalidad de dicho intervalo de temperatura,

60 en el que la integral con respecto al tiempo de dicho impulso de voltaje detectado del microhilo de referencia a dicha temperatura del material dada tiene una segunda magnitud,

65

en el que el cociente de dicha primera y segunda magnitudes proporciona un valor de cociente que se usa, en parte, para determinar la temperatura de dicho material.

5. Sensor de temperatura de la reivindicación 1 o 4, que incluye una capa de lubricación (60) que cubre las superficies exteriores de dicho haz de microhilos.
5
6. Sensor de temperatura de la reivindicación 5, siendo dicha lubricación (60) un lubricante seco.
7. Sensor de temperatura de la reivindicación 1 o 4, estando dicho tubo (12) dimensionado para tener un volumen interno mayor que el volumen de dicho conjunto de sensor (14), con lo cual dicho conjunto de sensor (14) es libre de moverse en una extensión limitada dentro del tubo (12).
10
8. Sensor de temperatura de la reivindicación 1 o 4, estando dicho tubo (12) formado a partir de material de resina sintética.
15
9. Sensor de temperatura de la reivindicación 1 o 4, estando previsto un microhilo de calibración (20) y/o un microhilo de referencia (18) dentro de dicho tubo (12).

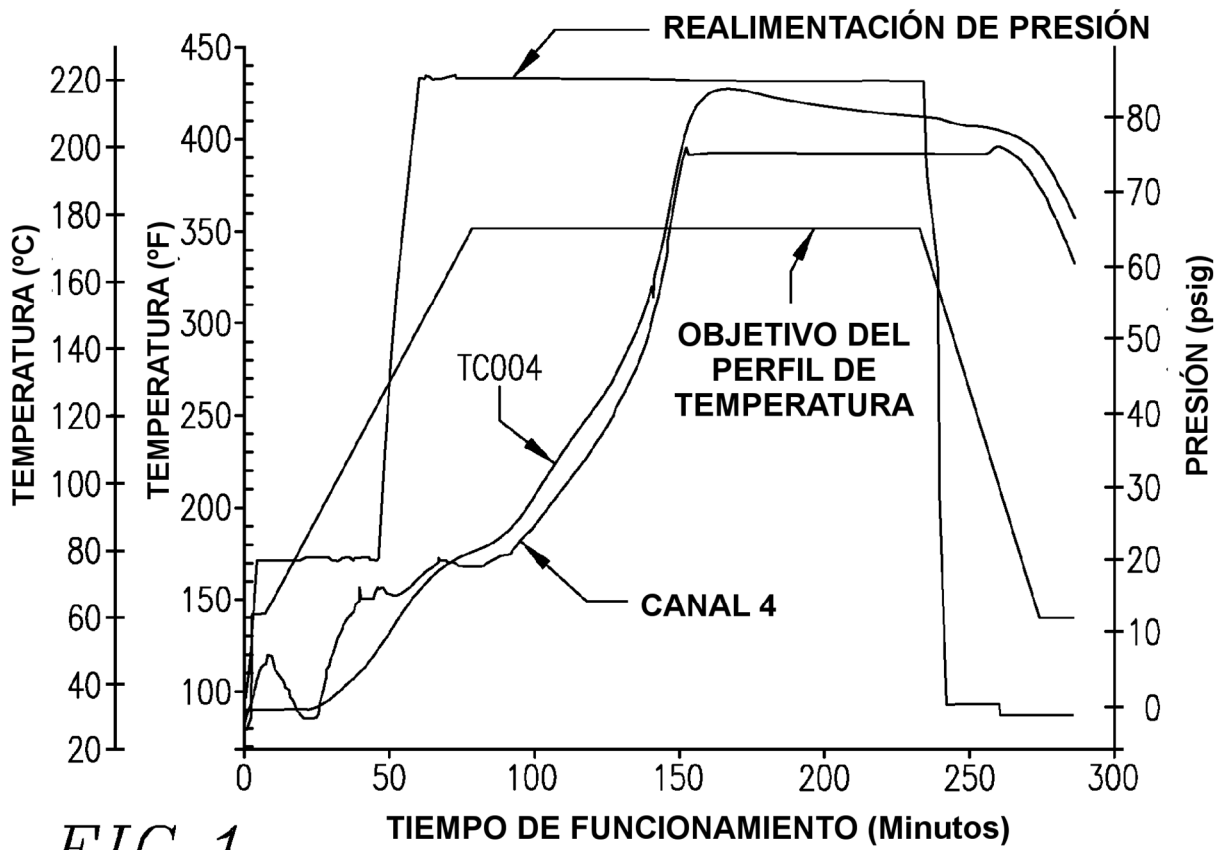


FIG. 1.

TÉCNICA ANTERIOR

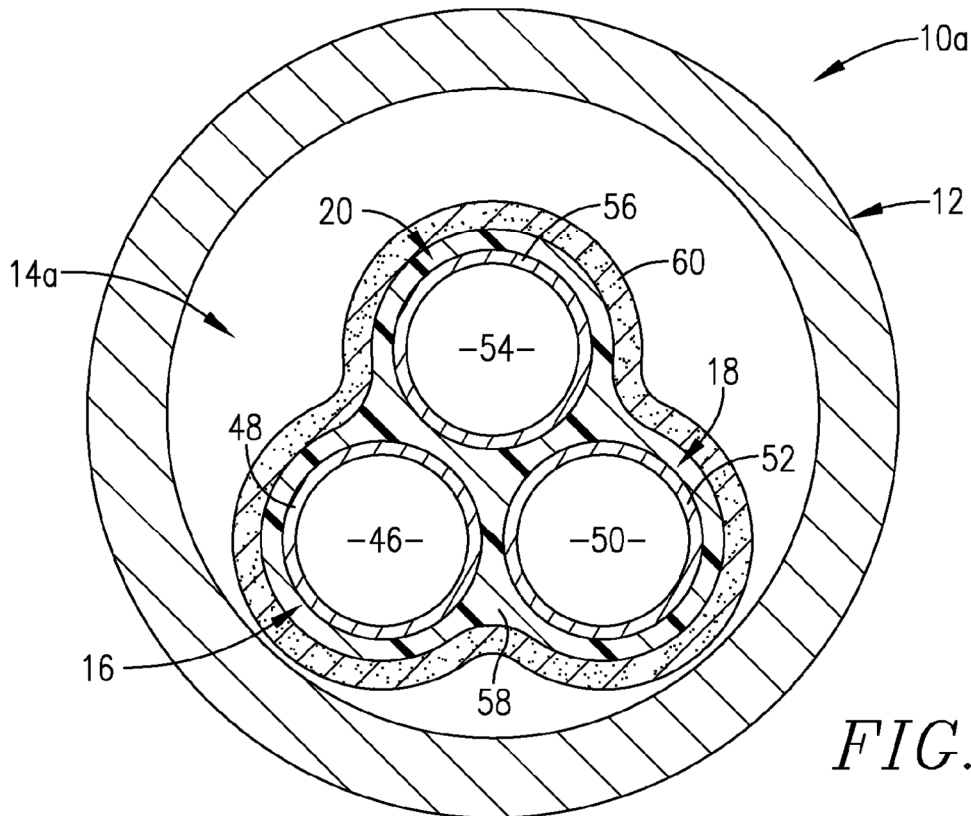


FIG. 2.

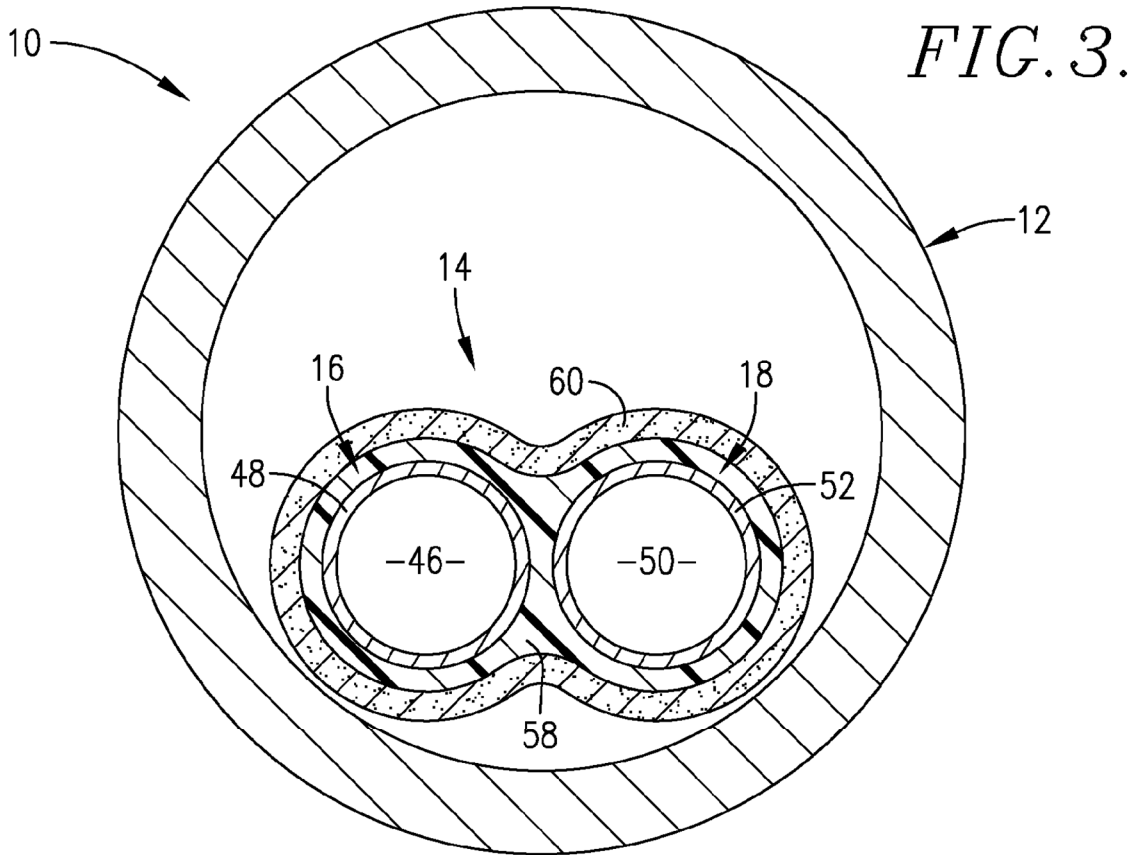
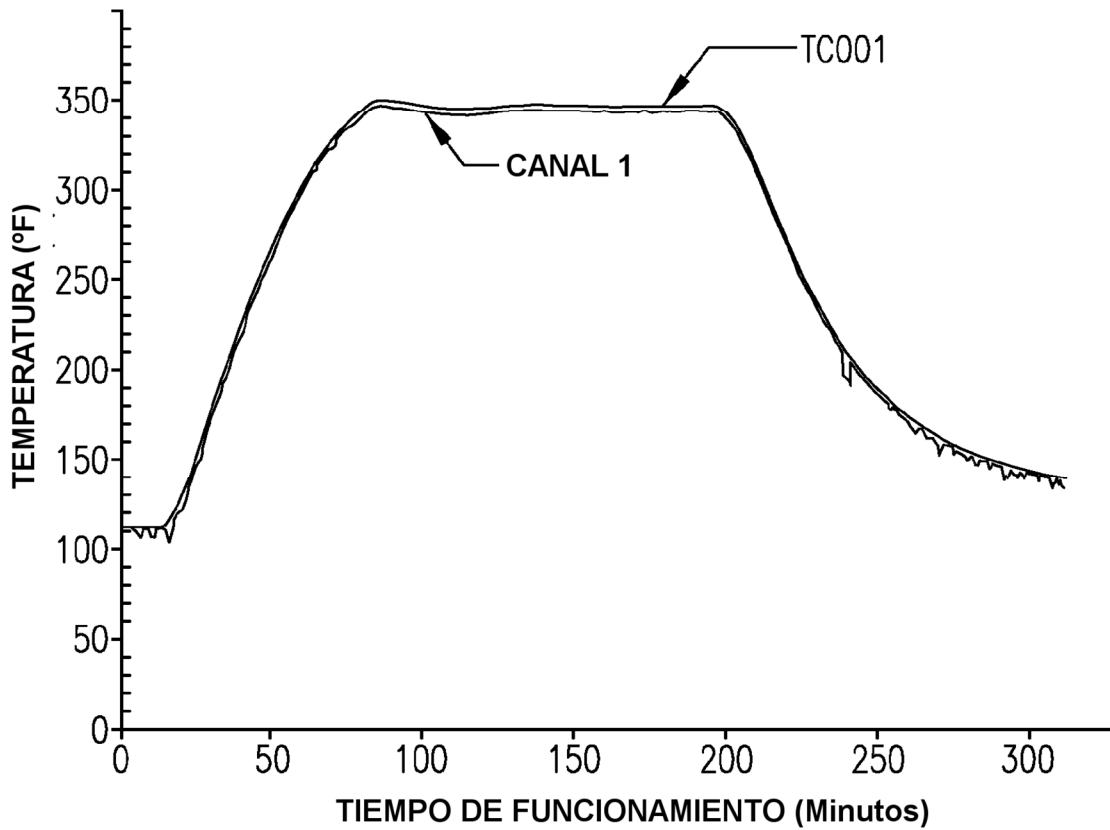


FIG. 3.

FIG. 4.



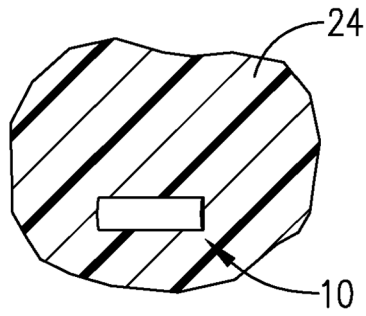


FIG. 5.

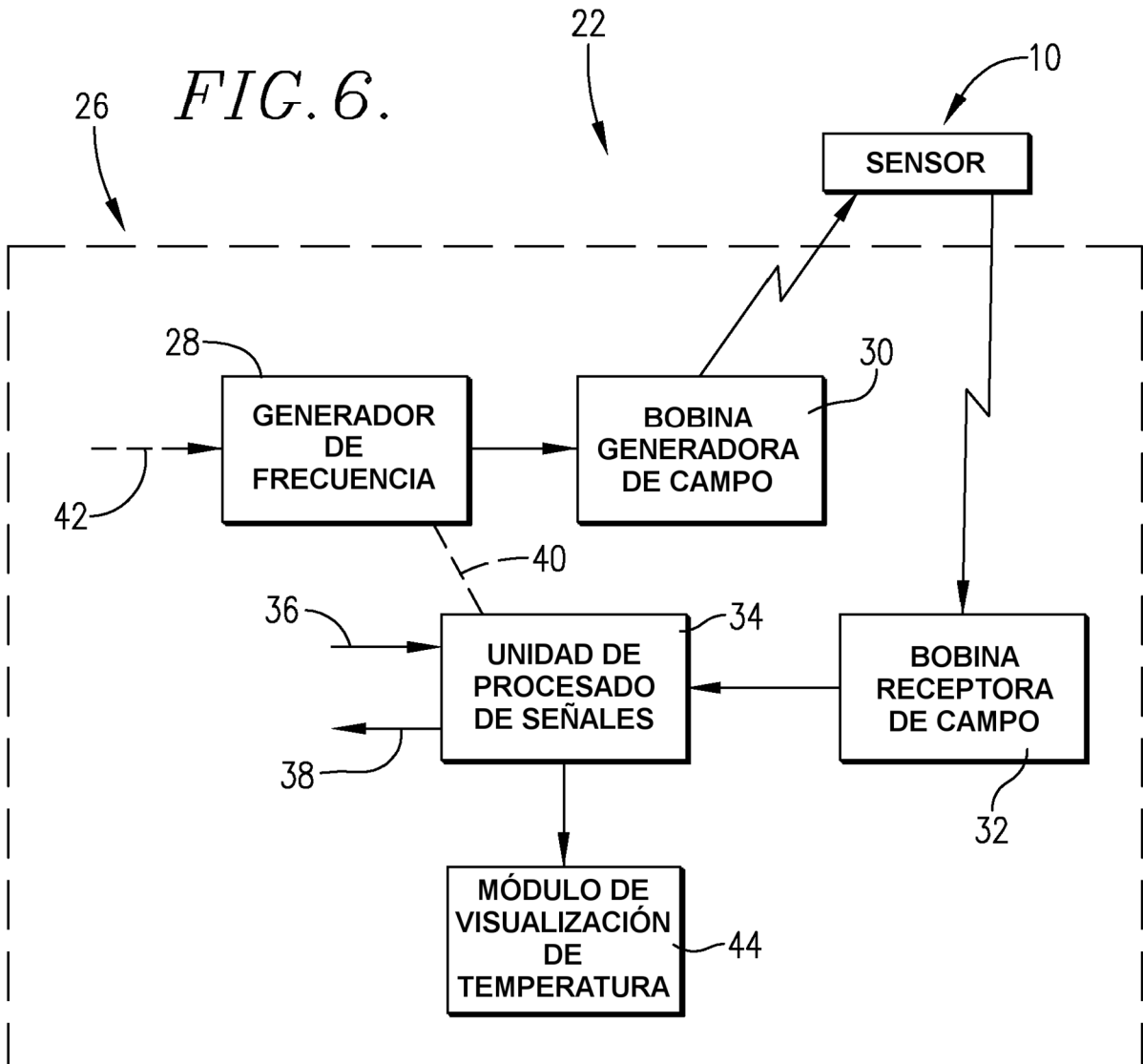


FIG. 6.