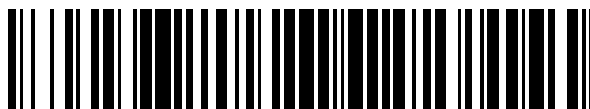


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 644 775**

51 Int. Cl.:

H05B 6/06 (2006.01)

H05B 6/10 (2006.01)

B29C 70/44 (2006.01)

B29C 65/36 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.09.2012** **E 12186038 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.07.2017** **EP 2575410**

54 Título: **Calentamiento por inducción usando bobinas de inducción en circuitos en serie-paralelo**

30 Prioridad:

29.09.2011 US 201113248134

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

30.11.2017

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-1596, US**

72 Inventor/es:

**MATSEN, MARC R.;
GEREN, WILLIAM P.;
MILLER, ROBERT J.;
NEGLEY, MARK A. y
DYKSTRA, WILLIAM C.**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 644 775 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

Calentamiento por inducción usando bobinas de inducción en circuitos en serie-paralelo

Información de antecedentes

1. Campo:

- 5 La presente divulgación se refiere de manera general a técnicas de calentamiento por inducción, y trata más particularmente de un método y un dispositivo para calentar por inducción áreas relativamente grandes usando múltiples bobinas de calentamiento por inducción con susceptores inteligentes alimentados a tensiones relativamente bajas.

2. Antecedentes:

- 10 Puede usarse calentamiento por inducción en una amplia variedad de procesos industriales para aumentar la temperatura de piezas o estructuras. Por ejemplo, en el campo de materiales compuestos, puede usarse calentamiento por inducción para curar una o más partes de una estructura formada a partir de materiales compuestos tales como resinas poliméricas reforzadas con fibras. Con el fin de lograr la uniformidad térmica durante el proceso de calentamiento, un sistema de calentamiento por inducción puede usar bobinas de inducción acopladas
- 15 magnéticamente con susceptores para convertir la energía eléctrica en energía térmica. Los susceptores se denominan algunas veces susceptores "inteligentes" porque los materiales a partir de los cuales se forman se eligen específicamente para producir una temperatura constante máxima cuando se calientan por inducción. Esta temperatura constante de equilibrio se logra en el punto de Curie del material susceptor. El punto de Curie es la temperatura a la que hay una transición entre las fases ferromagnética y no magnética del material. Una vez
- 20 alcanzada la temperatura de Curie, los susceptores pasan a ser no magnéticos y reducen en gran medida su tasa de calentamiento. Este control termostático incorporado proporciona un medio para evitar el sobrecalentamiento y permite un control preciso de la temperatura. Los susceptores pueden encontrarse en diversas formas físicas, incluyendo, pero sin limitarse a, fundas o envolturas en espiral colocadas alrededor de bobinas de inducción, placas o partículas magnéticas dispersadas dentro de una matriz circundante.
- 25 El documento US 2008/128078 A1 da a conocer un dispositivo de calentamiento por inducción, que comprende: una fuente de alimentación de CA, y un grupo de circuitos de bobina de inducción que incluyen, cada uno, una bobina de calentamiento por inducción y un susceptor que tiene una temperatura de Curie preseleccionada, en el que los circuitos de bobina de inducción están acoplados en paralelo entre sí y en serie con la fuente de alimentación de CA.
- 30 Pueden usarse sistemas de calentamiento por inducción que usan susceptores inteligentes del tipo descrito anteriormente, por ejemplo, como mantas térmicas para curar áreas pequeñas de un material compuesto, tales como parches de material compuesto usados para reparar un revestimiento de aeronave. Sin embargo, esta técnica de calentamiento por inducción puede no resultar práctica cuando se necesita calentar áreas relativamente grandes de una pieza o una estructura. Por ejemplo, con el fin de cubrir áreas grandes de piezas, pueden acoplarse múltiples bobinas de calentamiento por inducción en serie entre sí. El acoplamiento de las bobinas en serie a lo largo de áreas
- 35 grandes puede tener desventajas en algunas aplicaciones, incluyendo la necesidad de usar tensiones de accionamiento relativamente altas debido a la resistencia acumulada que presentan las bobinas presentes ante la fuente de potencia eléctrica. Además, las bobinas acopladas en serie pueden ser más difíciles de controlar, presentando la posibilidad de fuga térmica y/o calentamiento no uniforme de la pieza.
- 40 Por consiguiente, existe una necesidad de un dispositivo de calentamiento por inducción que proporcione un calentamiento uniforme y controlado de grandes áreas de superficie, usando múltiples circuitos de bobina de inducción autoequilibrados. También existe una necesidad de un método y dispositivo de calentamiento por inducción que usen tensiones relativamente bajas para accionar múltiples bobinas de inducción con susceptores inteligentes que cubren áreas de superficie relativamente grandes.

Sumario

- 45 Las realizaciones dadas a conocer proporcionan un método y un dispositivo para el calentamiento por inducción de áreas de superficie relativamente grandes usando múltiples circuitos de bobina de inducción que están autoequilibrados para proporcionar un calentamiento uniforme y controlable. Los circuitos de bobina de inducción están acoplados en paralelo entre sí, y en serie con una fuente de alimentación de CA que acciona los circuitos a tensiones relativamente bajas y permite una mayor facilidad de sintonización del sistema. La fuga térmica provocada por desequilibrios entre los circuitos de bobina de inducción se evita sintonizando los circuitos con la capacitancia necesaria para hacer que los circuitos resuenen a la frecuencia de accionamiento de la fuente de alimentación de CA. La corriente alterna aplicada a cada uno de los circuitos de bobina de inducción se regula de manera intrínseca de modo que se aplica más energía a los circuitos cuyos susceptores están por debajo de su temperatura de Curie y

se aplica menos energía a los circuitos que han alcanzado su temperatura de Curie. Esto permite que el dispositivo de calentamiento por inducción regule de manera intrínseca el flujo de corriente para alcanzar rápidamente temperaturas uniformes a temperaturas de procesamiento requeridas. Adicionalmente, el uso de circuitos de bobina de inducción en serie-paralelo elimina limitaciones de tamaño dictadas por la tensión en cuanto a las aplicaciones de calentamiento por inducción, al tiempo que se fuerza la convergencia térmica a lo largo de toda el área que está calentándose.

Según una realización de la invención un método de calentamiento por inducción comprende seleccionar al menos dos circuitos de bobina de inducción que incluyen, cada uno, una bobina de inducción y un susceptor que tiene una temperatura de Curie. El método incluye además acoplar los circuitos en paralelo entre sí y en serie con una fuente de alimentación de CA. El método también comprende sintonizar la frecuencia resonante de cada uno de los circuitos de bobina de inducción para coincidir con la frecuencia de la fuente de alimentación de CA. El método también comprende derivar potencia de uno de los circuitos de bobina de inducción a los otros circuitos cuando un susceptor en un circuito alcanza sustancialmente su temperatura de Curie. El método puede comprender además reequilibrar la potencia aplicada por la fuente de alimentación de CA a los otros circuitos de bobina de inducción cuando se deriva potencia del circuito que ha alcanzado su temperatura de Curie. El reequilibrado de la potencia puede realizarse manteniendo sustancialmente constante la potencia suministrada a los otros circuitos. La derivación de potencia del circuito que ha alcanzado su temperatura de Curie puede incluir desintonizar el circuito. El método puede incluir además usar condensadores para sintonizar cada uno de los circuitos para resonar a la frecuencia de la fuente de alimentación de CA. El método puede comprender además sintonizar la frecuencia resonante de cada uno de los circuitos de calentamiento para cancelar sustancialmente la reactancia inductiva del circuito. La sintonización puede realizarse usando un condensador.

Según todavía otra realización de la invención, un dispositivo de calentamiento por inducción comprende una fuente de alimentación de CA, y un grupo de circuitos de bobina de inducción que incluyen, cada uno, una bobina de calentamiento por inducción y un susceptor que tiene una temperatura de Curie preseleccionada. Los circuitos de bobina de inducción están eléctricamente acoplados en paralelo entre sí y en serie con la fuente de alimentación de CA. Cada uno de los circuitos de bobina de inducción incluye un condensador que proporciona al circuito un valor de reactancia capacitiva que es sustancialmente igual a la reactancia inductiva del circuito cuando el susceptor está por debajo de su temperatura de Curie. Cada uno de los circuitos de bobina de inducción está sintonizado para resonar a la frecuencia de corriente suministrada por la fuente de alimentación de CA.

Las características, funciones y ventajas pueden lograrse de manera independiente en diversas realizaciones de la presente divulgación o pueden combinarse en aún otras realizaciones en las que pueden observarse detalles adicionales con referencia a la siguiente descripción y dibujos.

Breve descripción de los dibujos

Los rasgos novedosos que se cree que son característicos de las realizaciones ventajosas se exponen en las reivindicaciones adjuntas. Sin embargo, las realizaciones ventajosas, así como un modo de uso preferido, ventajas y objetivos adicionales de las mismas, se entenderán mejor con referencia a la siguiente descripción detallada de una realización ventajosa de la presente divulgación, cuando se lee junto con los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es una ilustración de una vista en perspectiva de un dispositivo de calentamiento por inducción que emplea múltiples circuitos de bobina de inducción para calentar una pieza.

La figura 2 es una ilustración de una vista en sección tomada a lo largo de la línea 2-2 en la figura 1.

La figura 3 es una ilustración de la zona designada como "FIG. 3" en la figura 2.

La figura 4 es una ilustración de un diagrama de bloques de circuito del dispositivo de calentamiento por inducción.

La figura 5 es una ilustración de un diagrama de flujo de un método de calentamiento por inducción que usa múltiples circuitos de bobina de inducción.

La figura 6 es una ilustración de un diagrama de circuito equivalente del dispositivo de calentamiento por inducción.

La figura 7 es una ilustración de un diagrama esquemático detallado del dispositivo de calentamiento por inducción.

La figura 8 es una ilustración de un gráfico que muestra el número de bobinas requeridas para cubrir diversas áreas de superficie cuando se accionan a tensiones preseleccionadas.

Descripción detallada

Haciendo referencia en primer lugar a la figura 1, un dispositivo 20 de calentamiento por inducción incluye una pluralidad de secciones 20a, 20b, 20c, cada una en contacto con un área correspondiente de una pieza 25 que va a calentarse. En el ejemplo ilustrado, la pieza 25 comprende un material compuesto laminado que se cura mediante el calor generado por el dispositivo 20. Sin embargo, la pieza 25 laminada de material compuesto es meramente
 5 ilustrativa de una amplia gama de piezas, estructuras y superficies cuya temperatura puede aumentarse usando el dispositivo 20 de calentamiento. Cada sección 20a-20c del dispositivo 20 incluye una o más bobinas 22a, 22b, 22c de calentamiento por inducción correspondientes independientes. En el ejemplo ilustrado, las bobinas 22a-22c independientes cubren respectivamente las secciones 20a, 20b, 20c que son generalmente rectangulares, sin embargo las secciones 20a, 20b, 20c cubiertas por las bobinas 22a-22c independientes pueden tener cualquier
 10 forma, y pueden estar contiguas entre sí o no, dependiendo de las áreas de la pieza 25 que va a calentarse. En la realización a modo de ejemplo, las bobinas 22a, 22b, 22c están dispuestas en un patrón en serpentin, sin embargo otras geometrías de disposición son posibles, dependiendo de la aplicación. Aunque en el ejemplo mostrado en la figura 1 se emplean tres bobinas, pueden usarse tan sólo dos o más de tres bobinas 22.

Haciendo ahora referencia a las figuras 2 y 3, el dispositivo 20 de calentamiento por inducción incluye un alojamiento 36 exterior lleno con un material 34 de matriz adecuado tal como, sin limitación, silicona, que es térmicamente conductor para facilitar la conducción térmica de calor generado mediante una funda 40 de susceptor comentada a continuación hasta la superficie del dispositivo 20 en contacto con la pieza 25. El material 34 de matriz puede o no ser flexible y/o elástico para permitir que el dispositivo 20 de calentamiento se adapte a contornos (no mostrados) en la pieza 25. El alojamiento 36 puede incluir láminas 38a, 38b de cara superior e inferior formadas a partir de
 15 cualquier material adecuado, incluyendo, pero sin limitarse a, silicio, caucho, poliuretano u otros materiales que proporcionan al alojamiento 36 la estabilidad dimensional requerida, que pueden o no presentar algún grado de flexibilidad.

Cada una de las bobinas 22a, 22b, 22c de calentamiento por inducción comprende un conductor eléctrico rodeado por una funda 40 de susceptor concéntrica, también denominada algunas veces en el presente documento
 25 susceptor 40, que se calienta por inducción mediante una corriente eléctrica alterna que fluye a través de la bobina 22a, 22b, 22c asociada. La funda 40 de susceptor calentada por inducción puede estar formada a partir de un material que tiene una alta permeabilidad magnética, y funciona para conducir térmicamente el calor hasta la matriz 34 que a su vez conduce el calor hasta la pieza 25. La funda 40 de susceptor puede ser continua o discontinua a lo largo de una parte o de la longitud completa de la bobina 22a-22c asociada y está formada a partir de un material
 30 magnético que tiene una temperatura de Curie preseleccionada que corresponde a la temperatura deseada a la que va a calentarse la pieza 25. La funda 40 de susceptor comprende un cilindro rígido o un material trenzado que rodea a, pero está eléctricamente aislado de, su bobina 22a-22c asociada.

Tal como se observa mejor en la figura 3, el flujo de una corriente eléctrica alterna a través de la bobina 22 produce un campo 44 magnético alterno alrededor de la bobina 22a-22c. El campo 44 magnético se absorbe por el material
 35 magnético a partir del cual está formada la funda 40 de susceptor, haciendo que la funda 40 de susceptor se caliente por inducción. El campo 44 magnético da como resultado la generación de corrientes 46 de Foucault en la funda 40 de susceptor debido a su exposición al campo 44 magnético, sin provocar calentamiento por resistencia de la funda 40 de susceptor. Al alcanzar la temperatura de Curie, la funda 40 de susceptor pasa a ser no magnética, punto en el cual el campo 44 magnético ya no se concentra en la funda 40 de susceptor. Las corrientes 46 de Foucault
 40 inducidas y el calentamiento por resistencia asociado de la funda 40 disminuyen hasta un nivel suficiente para mantener la temperatura de la funda 40 de susceptor a la temperatura de Curie.

Tal como se indicó anteriormente, la funda 40 de susceptor puede estar formada a partir de cualquiera de una variedad de materiales magnéticos tales como aleaciones que tienen temperaturas de Curie en el intervalo deseado que, en el caso de una aplicación de curado de materiales compuestos, está dentro de un intervalo de temperaturas
 45 que dan como resultado el curado de la pieza 25. Las aleaciones a partir de las cuales puede estar formada la funda 40 de susceptor incluyen, pero no se limitan a, aleaciones de cobre, níquel, hierro, cobalto así como óxidos de metales incluyendo, sin limitación, magnetita, maghemita y una variedad de otros óxidos y metales.

Aunque se ha descrito un susceptor en forma de una funda 40 en relación con la realización ilustrada comentada anteriormente, el dispositivo 20 de calentamiento por inducción puede usar otros tipos de susceptores 40
 50 inteligentes. Por ejemplo, tal como se comenta en la publicación de patente estadounidense 20110139769 publicada el 16 de junio de 2011, el susceptor 40 inteligente puede comprender partículas (no mostradas) de un material ferromagnético o superparamagnético que están incorporadas en la matriz 34. El flujo de corriente CA a través de los conductores 22 da como resultado calentamiento por histéresis de las partículas ferromagnéticas. Este calentamiento por histéresis de las partículas ferromagnéticas incorporadas calienta a su vez la matriz 34 mediante conducción térmica. Cuando las partículas incorporadas son superparamagnéticas, la matriz
 55 34 se calienta mediante calentamiento por relajación de las partículas superparamagnéticas correspondiente a un intervalo de temperatura de Curie que está relacionado con el tamaño o diámetro de las partículas. Pueden ser posibles otros tipos de susceptores, incluyendo, pero sin limitarse a, placas, y envolturas en espiral (no mostradas) colocadas alrededor de las bobinas 22a-22b de inducción.

Haciendo ahora referencia a la figura 4, cada una de las bobinas 22a, 22b, 22c de calentamiento por inducción junto con su susceptor asociado (por ejemplo, funda 40 de susceptor) forma un circuito 24a, 24b, 24c de bobina de inducción correspondiente. Según las realizaciones dadas a conocer, los circuitos 24a-24c de bobina de inducción están eléctricamente acoplados en relación en paralelo entre sí, y en serie con una fuente 26 de alimentación de CA que acciona los circuitos 24a-24c de bobina de inducción con corriente alterna. Tal como se indicó anteriormente, en la realización ilustrada, se muestran tres de los circuitos 24a, 24b, 24c de bobina de inducción acoplados en paralelo entre sí, sin embargo, otras realizaciones pueden usar más de tres y tan sólo dos de los circuitos 24. La fuente 26 de alimentación de CA puede estar configurada como fuente 26 de alimentación portátil o fija, y está configurada para suministrar corriente alterna a una frecuencia y tensión que son adecuados para la aplicación. Por ejemplo, y sin limitación, la frecuencia de la corriente CA aplicada puede oscilar entre aproximadamente 1 kHz y 300 kHz, pero es preferiblemente de más de aproximadamente 20 kHz con el fin de minimizar calentamiento por inducción no deseado de materiales tales como materiales compuestos de grafito en la pieza 25.

El dispositivo 20 de calentamiento por inducción puede incluir uno o más sensores 28 que pueden comprender sensores térmicos tales como termopares para monitorizar el calor en ubicaciones a lo largo del dispositivo 20. Alternativamente, el sensor 28 puede comprender un sensor de tensión u otro dispositivo acoplado con la fuente 26 de alimentación para indicar la tensión que está aplicándose a los circuitos 24a-24c de bobina de inducción. Un controlador 30, que puede comprender un ordenador programado o un PLC (controlador de lógica programable), está acoplado con la fuente 26 de alimentación y el sensor 28, y funciona para ajustar la corriente alterna aplicada a lo largo de un intervalo predeterminado con el fin de adaptar el dispositivo 20 a una amplia variedad de estructuras que tienen diferentes requisitos de calentamiento. El controlador 30 puede funcionar además para reequilibrar la corriente alterna suministrada a los circuitos 24a-24c de bobina de inducción a medida que uno o más de estos circuitos alcanzan su temperatura de Curie y dejan de extraer corriente.

Cuando los sensores 28 son sensores térmicos tales como termopares, pueden proporcionarse datos de los termopares al controlador 30 con el fin de monitorizar la fuente 26 de alimentación y/o regular la magnitud o frecuencia de la corriente alterna suministrada. Tal como se comentará en más detalle a continuación, la corriente alterna aplicada a cada una de las bobinas 22a-22c se regula de manera intrínseca de modo que se aplica más energía a las bobinas 22 cuyos susceptores 40 están por debajo del punto de Curie y se aplica menos potencia a las bobinas 22 cuyos susceptores 40 están por encima del punto de Curie. Se deriva potencia a las bobinas en las que el susceptor 40 inteligente todavía es magnético y no ha alcanzado su punto de Curie. Esencialmente, los circuitos 24a-24c de bobina de inducción se autoequilibran para proporcionar una distribución de temperatura más uniforme sobre la pieza 25 que está calentándose.

La figura 5 ilustra las etapas de un método de calentamiento por inducción que usa múltiples bobinas de inducción en combinación con susceptores inteligentes. Comenzando en la etapa 52, se selecciona un número de bobinas 22a-22c de inducción que son suficientes para cubrir de manera colectiva un área deseada de una pieza 25 que va a calentarse. En la etapa 54, se colocan las bobinas 22a-22c de inducción en circuitos 24a-24c que están acoplados en paralelo entre sí y en serie con una fuente 26 de alimentación de CA que suministra una corriente alterna a cada uno de los circuitos 24a-24c de bobina de inducción. En la etapa 56, se sintoniza cada uno de los circuitos 24a-24c de bobina de inducción y se acciona a una frecuencia resonante correspondiente a la frecuencia de la corriente alterna. En la etapa 58, cuando el susceptor 40 en un circuito 24a-24c de bobina de inducción alcanza su temperatura de Curie, ese circuito 24a-24c de bobina de inducción se desintoniza (es decir, deja de estar en resonancia) y se deriva potencia de ese circuito particular a los circuitos 24a-24c restantes. En la etapa 60, se reequilibra la potencia que está suministrándose al dispositivo 20 de calentamiento mediante la fuente 26 de alimentación de CA para suministrar cantidades de potencia sustancialmente iguales a los circuitos 24a-24c de bobina de inducción que están funcionando por debajo de sus temperaturas de Curie.

La figura 6 es un circuito equivalente que corresponde a la disposición de circuito en serie-paralelo en la figura 4 en el que cada uno de los circuitos 24a-24c de bobina de inducción puede representarse como una impedancia Z1, Z2 y Z3 correspondiente que están acopladas en paralelo entre sí, y en serie con una Voc de fuente de tensión de CA. A partir de la figura 6, puede apreciarse que dado que el dispositivo 20 de calentamiento por inducción está dividido en bobinas 22a-22c independientes que están acopladas en paralelo representadas por las impedancias Z1, Z2, Z3, la tensión requerida para accionar el dispositivo 20 de calentamiento se reduce por el número de bobinas 22 independientes. El circuito en serie mostrado en 62 incluye una resistencia inherente Rs, y cada una de las impedancias Z1-23 incluye una resistencia, y una reactancia que son componentes inductivo y capacitivo, tal como se comentará a continuación. Cuando el susceptor 40 en uno de los circuitos 24 de bobina de inducción, por ejemplo el circuito 24b de bobina de inducción representado por la impedancia Z2, se aproxima a su punto de Curie, entonces la permeabilidad del susceptor 40 asociado disminuye sustancialmente, provocando una reducción correspondiente en los componentes de reactancia resistivo e inductivo de la impedancia Z2. Esencialmente, la bobina 22b en el circuito 24b pasa a ser predominantemente no magnética y extrae mucha menos potencia que las otras bobinas 22a, 22c porque la bobina 22b no se acopla completamente en el susceptor 40 asociado, y la potencia suministrada a la bobina 22b disminuye. Siempre que la disminución de la resistencia sea de aproximadamente el 90% o más, y la inductancia disminuya en aproximadamente el 50%, el circuito 24b de bobina de inducción extraerá muy poca potencia mientras que los otros dos circuitos 24a, 24c extraerán aproximadamente la mitad de la potencia

de entrada. Para mantener una buena coincidencia, el circuito 62 de entrada puede volver a sintonizarse en consecuencia.

La figura 7 ilustra detalles adicionales de cada uno de los circuitos 24a-24c de bobina de inducción representados respectivamente por las impedancias Z1, Z2, Z3 en la figura 6. Cada uno de los circuitos 24a-24c comprende un circuito RLC. R en cada uno de los circuitos 24a-24c representa la resistencia de la bobina 22 de inducción además de la resistencia acoplada con su susceptor 40 asociado. La inductancia L del circuito 24a-24c está regida por la configuración de la bobina 22, incluyendo su geometría de disposición, el número de giros de la bobina 22 y las propiedades magnéticas del susceptor 40 asociado. La mayor parte de la resistencia R puede ser la del susceptor 40 en el circuito 24a-24c. La capacitancia C del circuito 24a-24c es la de un condensador de sintonización que sintoniza el circuito 24a-24c para resonar a la frecuencia de la corriente alterna aplicada. El valor particular del condensador de sintonización C se selecciona de tal manera que da como resultado una reactancia capacitiva que es sustancialmente igual a, y cancela, la reactancia inductiva del circuito 24a-24c. Esta sintonización minimiza la impedancia Z1-Z3 asociada del circuito 24a-24c y da como resultado un flujo de corriente máximo a través del circuito. El condensador de sintonización C puede ser un dispositivo condensador diferenciado o puede ser una capacitancia distribuida que es inherente al diseño global del circuito 24a-24c de bobina de inducción.

La tensión que se requiere para accionar cada uno de los circuitos 24a-24c depende de las impedancias Z1, Z2, Z3 de los circuitos y de la cantidad de corriente que se necesita para accionar las bobinas 22 asociadas (L), calculada según la ley de Ohm. Por tanto, la salida de tensión Voc de la fuente de alimentación debe seleccionarse para suministrar la tensión de accionamiento necesaria. En algunas realizaciones, cuando la salida de tensión Voc de la fuente de alimentación no coincide con la tensión necesaria para accionar los circuitos 24a-24c a los niveles de corriente deseados, pueden usarse transformadores 64 para transformar respectivamente la tensión de salida Voc al nivel de tensión necesario.

Tal como se mencionó anteriormente, los circuitos 24a-24c de bobina de inducción están autoequilibrados. La impedancia de entrada Z de una bobina 22 que excita a un susceptor 40 inteligente tiene una reactancia relativamente grande que debe hacerse coincidir con la Voc de fuente de alimentación de CA sintonizada, de banda estrecha. A medida que se calienta un susceptor 40, tanto la inductancia L como la resistencia R cambian de manera apreciable, requiriendo un ajuste en tiempo real de la Voc de fuente de alimentación de CA. En las proximidades de la temperatura de Curie, tanto la inductancia L como la resistencia R disminuyen drásticamente. Si dos o más circuitos de bobina de inducción están acoplados de manera apropiada en paralelo entre sí y en serie con la Voc de fuente de alimentación de CA tal como se mencionó anteriormente, es posible aprovechar esta reducción pronunciada de la impedancia para derivar potencia del susceptor 40 en estado de Curie que ya se ha calentado suficientemente. El condensador de sintonización C sintoniza la bobina 22 para coincidir con la resistencia de entrada de fuente de alimentación, y cancela la reactancia inductiva, mientras que puede usarse un transformador (no mostrado) para ajustar a escala la resistencia restante para coincidir con la entrada de fuente de alimentación.

Cuando un susceptor 40 inteligente en uno de los circuitos 24a-24c de bobina de inducción alcanza su temperatura de Curie y pasa a ser no magnético, entonces el circuito 24a-24c de bobina de inducción asociado se desintoniza de la frecuencia de accionamiento resonante debido al cambio de inductancia y bloquea esencialmente que la corriente fluya a través del circuito 24a-24c no cargado (bobina no magnética). Aquí debe observarse que aunque la resistencia disminuya sustancialmente, lo que normalmente daría como resultado un flujo de corriente superior a través de un circuito que ha alcanzado su temperatura de Curie, el hecho de que el valor del condensador C no cambie de manera apreciable da como resultado una desintonización del circuito 22a-22c que impide sustancialmente que fluya corriente al circuito 22a-22c.

La figura 8 es un gráfico que muestra la relación entre la tensión 68 aplicada y el área 70 que está calentándose cuando se colocan múltiples bobinas 22 de inducción en paralelo entre sí y en serie con la tensión 68 aplicada. El ejemplo mostrado en el gráfico de la figura 8 es para una frecuencia de accionamiento de 250 kHz. Tal como puede apreciarse a partir de las representaciones 66 gráficas, a un nivel dado de tensión 68 aplicada, pueden calentarse áreas 70 más grandes de una pieza 25 usando un circuito de calentamiento que está dividido en un número mayor de bobinas acopladas en paralelo entre sí y en serie con la tensión 68 aplicada.

La descripción de las diferentes realizaciones ventajosas se ha presentado con fines de ilustración y descripción, y no se pretende que sea exhaustiva o se limite a las realizaciones en la forma dada a conocer. Muchas modificaciones y variaciones resultarán evidentes para los expertos habituales en la técnica. Además, diferentes realizaciones ventajosas pueden proporcionar diferentes ventajas en comparación con otras realizaciones ventajosas. La realización o realizaciones seleccionadas se eligen y describen con el fin de explicar mejor los principios de las realizaciones, la aplicación práctica, y para permitir que otros expertos habituales en la técnica entiendan que la divulgación de diversas realizaciones con diversas modificaciones es adecuada para el uso particular contemplado.

REIVINDICACIONES

1. Método de calentamiento por inducción, que comprende:

seleccionar al menos dos circuitos (24) de bobina de inducción que incluyen, cada uno, un susceptor (40) que tiene una temperatura de Curie;

5 acoplar los circuitos (24) de bobina de inducción en paralelo entre sí y en serie con una fuente (26) de alimentación de CA;

sintonizar la frecuencia resonante de cada uno de los circuitos de bobina de inducción para coincidir con la frecuencia de la fuente de alimentación de CA, y

10 derivar potencia de uno de los circuitos (24) de bobina de inducción a los otros circuitos de bobina de inducción cuando el susceptor del circuito alcanza sustancialmente su temperatura de Curie.

2. Método según la reivindicación 1, que comprende además:

reequilibrar la potencia aplicada por la fuente (26) de alimentación de CA a los otros circuitos (24) de bobina de inducción cuando se deriva potencia del circuito que ha alcanzado su temperatura de Curie.

15 3. Método según la reivindicación 1 ó 2, en el que derivar la potencia del circuito de bobina de inducción que ha alcanzado su temperatura de Curie incluye desintonizar el circuito.

4. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además:

sintonizar cada uno de los circuitos de bobina de inducción para coincidir sustancialmente con la resistencia de entrada de la fuente de alimentación de CA y cancelar la reactancia inductiva del circuito.

20 5. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la sintonización incluye usar un transformador para ajustar a escala la resistencia de uno de los circuitos de bobina de inducción que ha alcanzado su punto de Curie para coincidir sustancialmente con la resistencia de la fuente de alimentación de CA.

6. Método según la reivindicación 1 que comprende:

colocar las bobinas (24) de calentamiento por inducción en proximidad con una pieza que va a calentarse;

25 usar la fuente de alimentación de CA para suministrar una corriente alterna a los circuitos (24) de bobina de inducción; y

sintonizar la frecuencia resonante de cada uno de los circuitos para cancelar sustancialmente la reactancia inductiva del circuito.

7. Dispositivo de calentamiento por inducción, que comprende:

una fuente (26) de alimentación de CA; y

30 un grupo de circuitos (24) de bobina de inducción que incluyen, cada uno, una bobina de calentamiento por inducción y un susceptor que tiene una temperatura de Curie preseleccionada;

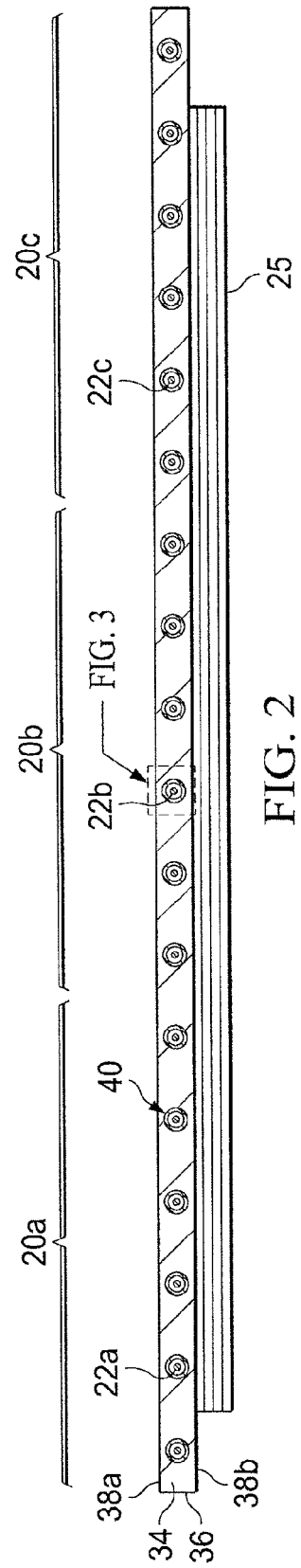
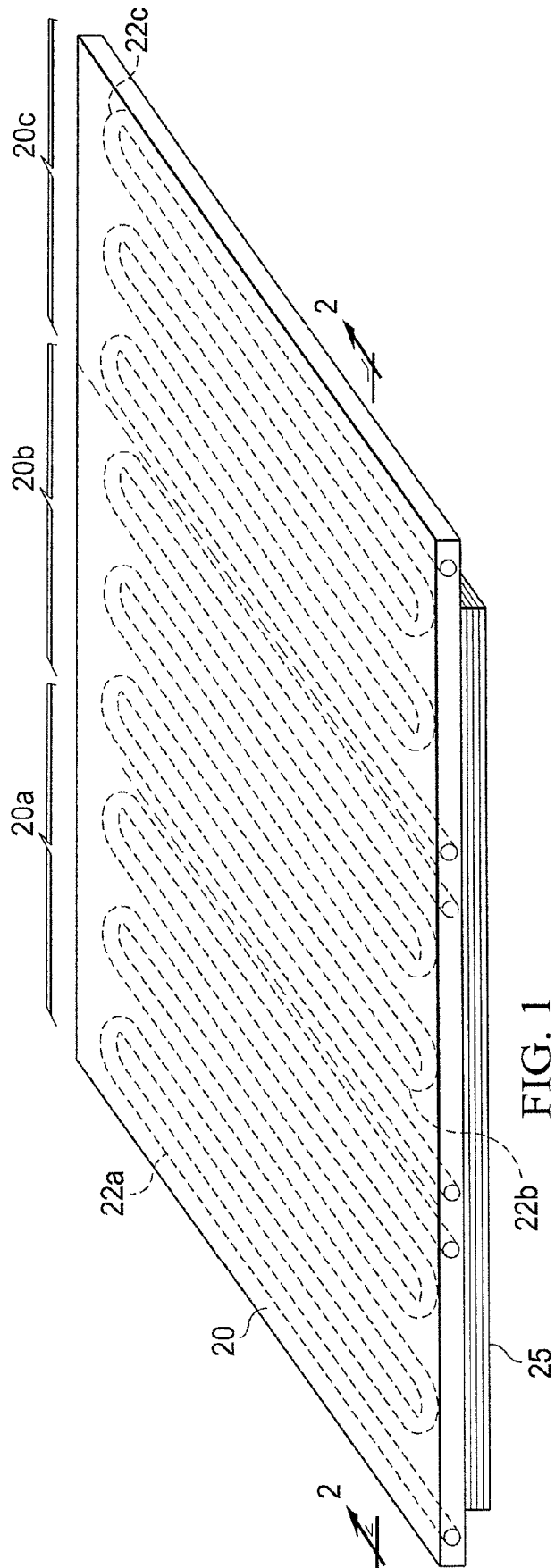
en el que los circuitos (24) de bobina de inducción están acoplados en paralelo entre sí y en serie con la fuente de alimentación de CA,

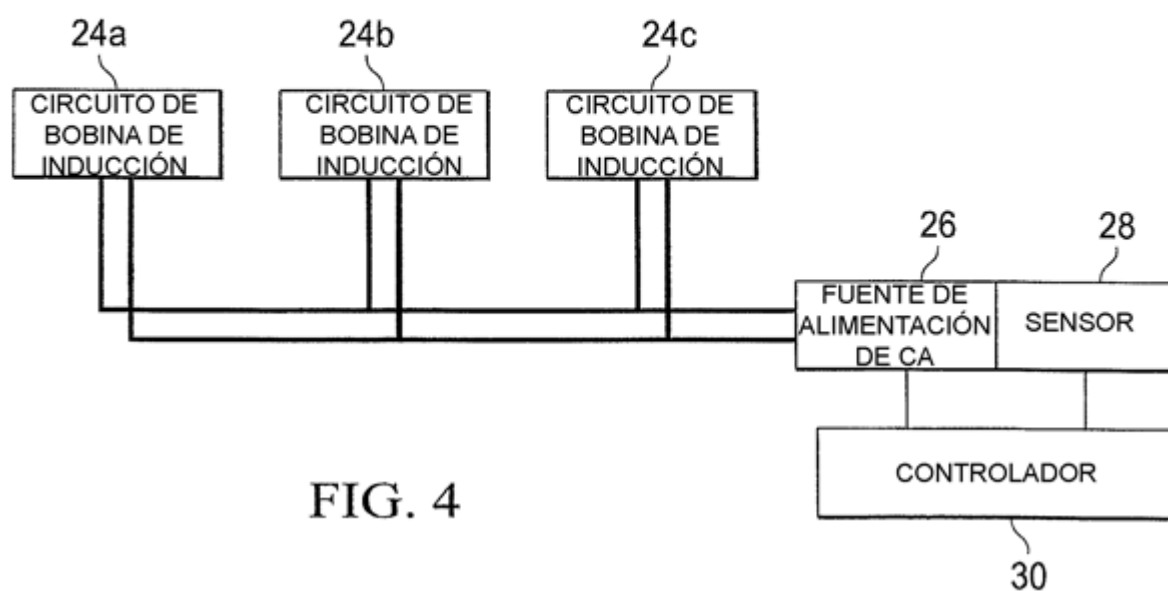
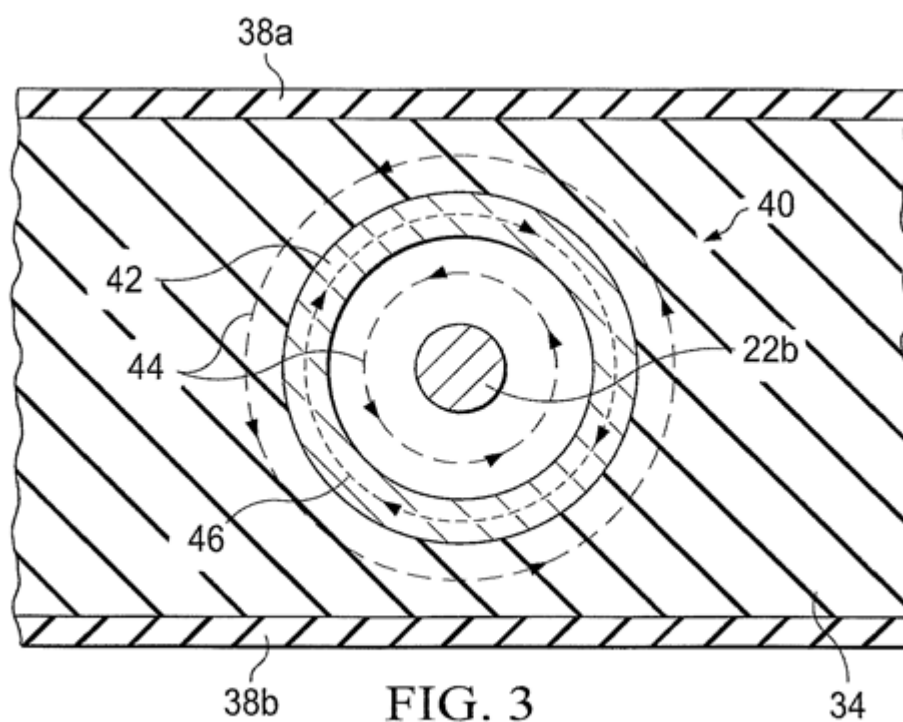
35 estando el dispositivo de calentamiento por inducción caracterizado porque cada uno de los circuitos (24) de bobina de inducción incluye un condensador que proporciona al circuito un valor de reactancia capacitiva que es sustancialmente igual a la reactancia inductiva del circuito cuando el susceptor está por debajo de su temperatura de Curie; estando cada uno de los circuitos (24) de bobina de inducción sintonizado para resonar a la frecuencia de corriente suministrada por la fuente de alimentación de CA.

40 8. Dispositivo de calentamiento por inducción según la reivindicación 7, en el que cada uno de los circuitos (24) de bobina de inducción se sintoniza para coincidir con la resistencia de entrada de la fuente (26) de alimentación de CA.

9. Dispositivo de calentamiento por inducción según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 8, que comprende además:

un controlador (30) para controlar la fuente de alimentación para redistribuir potencia suministrada a los circuitos de bobina de inducción cuando uno o más de los susceptores alcanzan su temperatura de Curie.





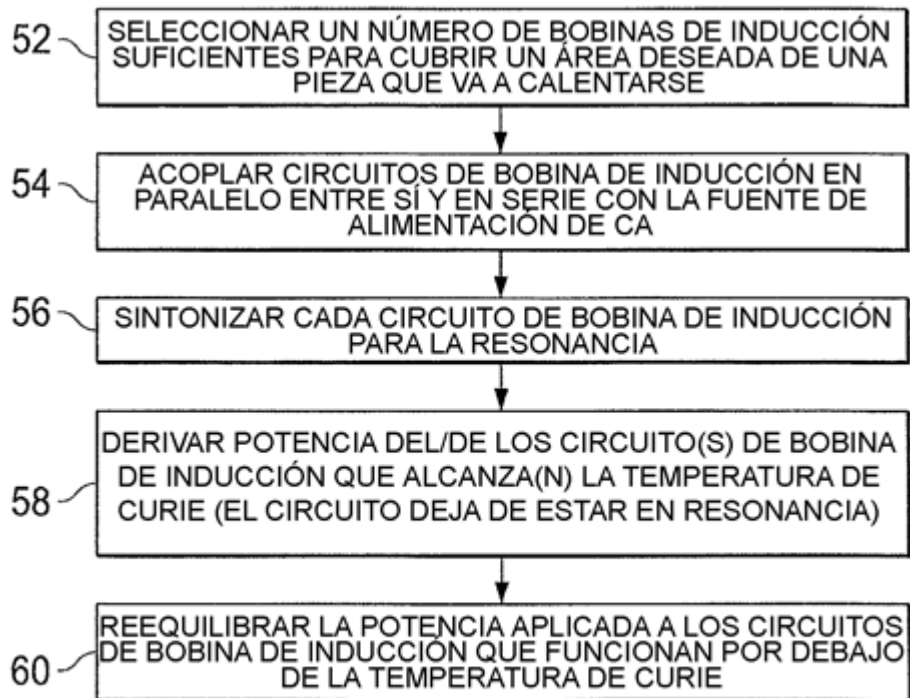


FIG. 5

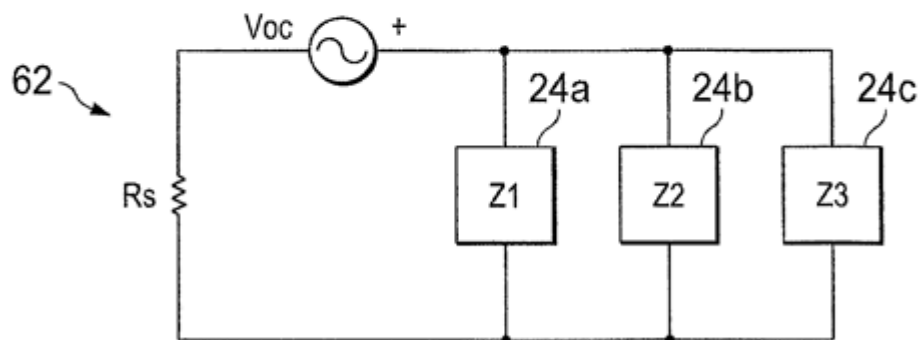


FIG. 6

FIG. 7

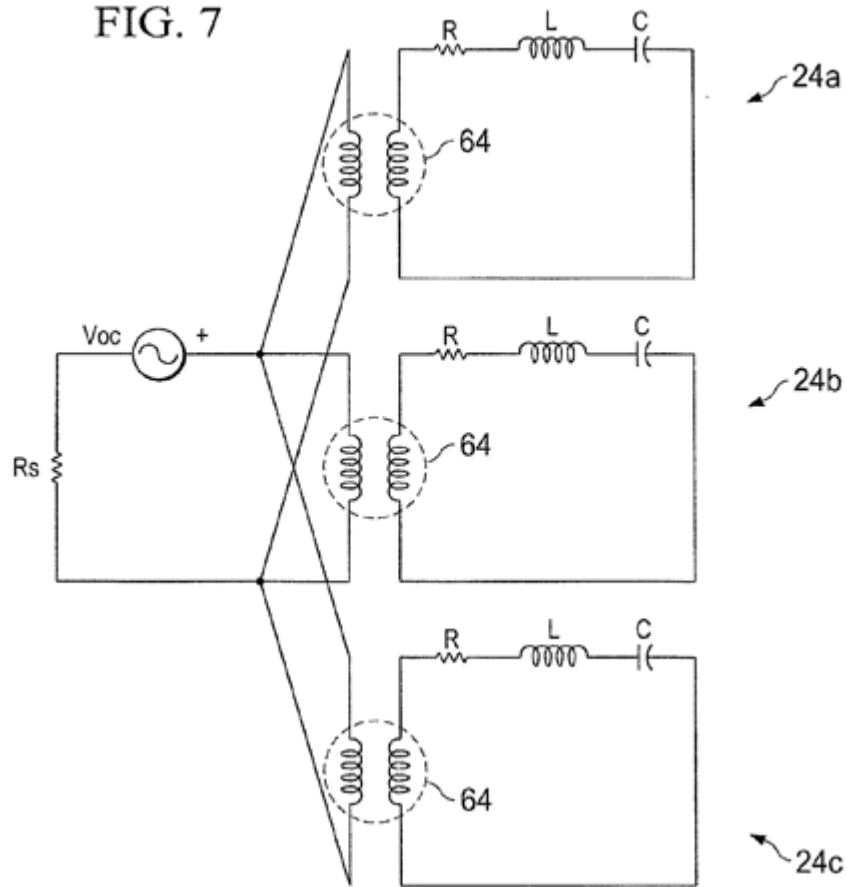


FIG. 8

