

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 630 230**

51 Int. Cl.:

B29C 43/52 (2006.01)

B29C 33/06 (2006.01)

B29C 35/08 (2006.01)

H05B 6/10 (2006.01)

B29C 70/46 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.11.2012 E 12193390 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.03.2017 EP 2596937**

54 Título: **Sistema y método para ajustar la temperatura de equilibrio de un susceptor calentado inductivamente**

30 Prioridad:

28.11.2011 US 201113305297

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

18.08.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**MATSEN, MARC R.;
NEGLEY, MARK A. y
GEREN, WILLIAM P.**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 630 230 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

Sistema y método para ajustar la temperatura de equilibrio de un susceptor calentado inductivamente

Campo

5 La presente descripción se refiere en general a materiales compuestos y, más particularmente, al calentamiento de artículos termoplásticos durante la formación de tales artículos.

Antecedentes

10 La formación de artículos compuestos requiere típicamente calentar una preforma mientras se aplica fuerza de compresión durante la consolidación de la preforma. Cuando se calienta la preforma, es típicamente deseable mantener la preforma a una temperatura elevada y dentro de un intervalo de temperatura relativamente estrecho correspondiente al sistema de material o composición de resina de la preforma de modo que se alcancen las propiedades mecánicas deseadas en el artículo final. Cuando se forma un artículo termoplástico, puede ser necesario calentar la preforma por encima de la temperatura de fusión de la resina termoplástica de manera que la resina pueda fluir a lo largo de la preforma durante la consolidación.

15 Para conseguir las propiedades mecánicas deseadas en el artículo termoplástico, también puede ser necesario ciclicizar térmicamente la preforma reduciendo la temperatura de la preforma desde la temperatura de fusión hasta una segunda temperatura más baja y mantener la preforma a la segunda temperatura para un periodo de tiempo predeterminado. Manteniendo la preforma a la segunda temperatura durante el periodo de tiempo predeterminado, se puede conseguir el nivel deseado de cristalinidad en el artículo termoplástico que puede afectar las propiedades mecánicas del artículo final. Las propiedades mecánicas del artículo termoplástico final también pueden verse afectadas por la velocidad a la que la preforma se calienta y/o se enfría durante el ciclo térmico.

25 Las técnicas convencionales para formar artículos compuestos incluyen el uso de un autoclave y herramientas convencionales para consolidar la preforma y formar la preforma en la forma deseada. Por desgracia, los autoclaves y las herramientas tienen típicamente masas térmicas relativamente grandes, lo que da lugar a una cantidad significativa de tiempo para calentar inicialmente la preforma al punto de fusión. Además, la masa térmica relativamente grande de un autoclave y herramientas da como resultado una cantidad de tiempo significativa para que el artículo se enfríe durante el ciclo térmico. Además, la masa térmica relativamente grande del autoclave y de los útiles reduce la capacidad de mantener el artículo a las temperaturas deseadas durante los periodos de tiempo especificados para conseguir propiedades mecánicas óptimas en el artículo final.

30 De: Witte Weller & Partner a: 08923994465 Página: 7115 Fecha: 18.11.2013 17:07:26 Otras desventajas asociadas con el uso de autoclaves y herramientas convencionales incluyen dificultad en la aplicación de calor al artículo de una manera uniformemente distribuida debido a la masa térmica relativamente grande del autoclave y de las herramientas. Además, la gran masa térmica del autoclave y las herramientas resultan en periodos de tiempo relativamente largos para permitir que el artículo se enfríe a una temperatura segura para su manipulación. Además, los autoclaves consumen cantidades relativamente grandes de energía eléctrica durante el calentamiento inicial del interior del autoclave y las herramientas.

40 Como puede verse, existe una necesidad en la técnica de un sistema y método para calentar una preforma que proporcione un alto nivel de controlabilidad de la temperatura a la que se calienta la preforma. Además, existe una necesidad en la técnica de un sistema y método que facilita el calentamiento y enfriamiento de una preforma en un periodo de tiempo relativamente corto y de una manera controlada de tal manera que se pueden optimizar las propiedades mecánicas del artículo final. Además, existe una necesidad en la técnica de un sistema y método para calentar una preforma que da como resultado una distribución uniforme de calor a través de la preforma. Preferiblemente, dicho sistema y método pueden operarse de una manera eficiente en cuanto a la energía y rentabilidad.

45 Los sistemas para calentar artículos termoplásticos usando bobinas conductoras y láminas de cara de suscepto son conocidos por los documentos US 2009/0074905A1 y US 2005/0035115 A1.

Sin embargo, estos sistemas no permiten un control de temperatura de alto nivel.

Resumen

50 Las necesidades antes mencionadas asociadas con artículos de calentamiento con un alto nivel de control de la temperatura son abordadas específicamente por la presente descripción que proporciona un sistema para calentar inductivamente piezas de trabajo según la reivindicación 1 definida. De acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema que incluye una bobina de inducción, al menos una lámina de cara de

5 susceptor, y un controlador de corriente. La bobina de inducción está configurada para conducir una corriente alterna y generar un campo magnético en respuesta a la corriente alterna. La lámina de cara del susceptor está configurada para tener una pieza de trabajo posicionada con ella. La lámina de cara de susceptor puede estar formada por una aleación ferromagnética que tiene una temperatura Curie y que puede calentarse inductivamente a una temperatura de equilibrio que se aproxima a la temperatura Curie en respuesta al campo magnético. El controlador de corriente está acoplado a la bobina de inducción y está configurado para ajustar la corriente alterna de una manera que causa un cambio en al menos un parámetro de calentamiento de la lámina de cara de susceptor.

10 El controlador de corriente está configurado para ajustar una frecuencia de la corriente alterna de una manera que provoca un cambio en la temperatura de equilibrio de la lámina de cara del susceptor. Preferiblemente, el controlador de corriente está configurado para ajustar la frecuencia de la corriente alterna de una manera que hace que la temperatura de equilibrio de la lámina de cara del susceptor cambie aproximadamente 5 a 15 grados Fahrenheit. El controlador de corriente está configurado para ajustar un amperaje de la corriente alterna de una manera que provoca un cambio en la temperatura de equilibrio de la lámina de cara del susceptor.

El controlador de corriente está configurado para ajustar una frecuencia del alternante

15 De: Witte Weller & Partner Para: 08923994465 Página: 8/15 Fecha: 18.11.2013 17:07:27 corriente de una manera que causa un cambio en una velocidad de calentamiento de la lámina de cara del susceptor.

20 El controlador de corriente está configurado para ajustar un amperaje de la corriente alterna de una manera que provoca un cambio en una velocidad de calentamiento de la lámina de cara del susceptor. Ventajosamente, la corriente alterna tiene una gama de frecuencias de aproximadamente 1 kHz a 300 kHz. Ventajosamente, la corriente alterna tiene un amperaje de entre aproximadamente 10 amperios y 10.000 amperios. Ventajosamente, la bobina de inducción comprende una pluralidad de porciones de bobina superior e inferior que se extienden a través de una pluralidad de laminaciones. Ventajosamente, la bobina de inducción comprende una porción de bobina superior y una porción de bobina inferior y las porciones de bobina superior e inferior están acopladas eléctricamente entre sí para formar una bobina de inducción cuando una pieza de trabajo se sujeta entre un par de láminas de superficie de susceptor. Ventajosamente, el sistema comprende además un sistema de enfriamiento para enfriar la lámina de cara del susceptor. Ventajosamente, el sistema comprende además una prensa para aplicar una fuerza de compresión a la pieza de trabajo.

30 De acuerdo con un aspecto de la presente invención como se define en la reivindicación 6, se proporciona un método de calentamiento inductivo de una pieza de trabajo que incluye la etapa de aplicar corriente alterna a una bobina de inducción que tiene al menos una lámina de superficie de susceptor montada adyacente a la misma, en donde la lámina de cara del susceptor puede ser formada de una aleación ferromagnética que tiene una temperatura Curie. El método puede incluir además la generación de un campo magnético y el calentamiento inductivo de la lámina de cara del susceptor a una temperatura de equilibrio que se aproxima a la temperatura Curie en respuesta al campo magnético. El método también puede incluir ajustar al menos un parámetro de corriente de la corriente alterna y desplazar la temperatura de equilibrio de la lámina de cara de susceptor en respuesta al ajuste del parámetro de corriente.

40 La etapa de ajustar al menos un parámetro de corriente comprende ajustar una frecuencia de la corriente alterna y desplazar la temperatura de equilibrio de la lámina de cara del susceptor. Preferiblemente, la etapa de ajuste de la frecuencia comprende ajustar la frecuencia de la corriente alterna de una manera que hace que la temperatura de equilibrio de la lámina de cara del susceptor cambie aproximadamente 5 a 15 grados Fahrenheit. La etapa de ajustar al menos un parámetro de corriente comprende ajustar un amperaje de la corriente alterna y desplazar la temperatura de equilibrio de la lámina de cara del susceptor. Ventajosamente, la etapa de ajustar al menos un parámetro de corriente comprende ajustar una frecuencia de la corriente alterna y cambiar una velocidad de calentamiento de la lámina de cara de susceptor. La etapa de ajustar al menos un parámetro de corriente comprende ajustar un amperaje de la corriente alterna y cambiar una velocidad de calentamiento de la lámina de cara de susceptor. El método comprende además la etapa de aplicar una fuerza de compresión a una pieza de trabajo. Ventajosamente, el método comprende además la etapa de enfriar activamente la lámina de cara del susceptor. En una realización adicional, se describe un método para calentar inductivamente una pieza de trabajo y que puede incluir la aplicación de corriente alterna a una bobina de inducción que tiene una lámina de superficie del susceptor montada adyacente a la misma. La lámina de cara del susceptor puede estar formada de una aleación ferromagnética que tiene una temperatura Curie. El método puede incluir además la generación de un campo magnético a lo largo de la lámina de cara del susceptor en respuesta a la corriente alterna y calentar inductivamente la lámina de cara del susceptor a una temperatura de equilibrio que se aproxima a la temperatura Curie en respuesta al campo magnético. El método puede adicionalmente incluir calentamiento conductivo de la pieza de trabajo en contacto térmico con la lámina de cara de susceptor y estabilizar la temperatura de la lámina de cara de susceptor a una temperatura de equilibrio por debajo de la temperatura Curie. El método puede incluir adicionalmente ajustar al menos un parámetro de corriente de la corriente alterna y cambiar al menos una característica de calentamiento de la lámina de cara de susceptor en respuesta al ajuste del parámetro de corriente de la corriente alterna.

Las características, funciones y ventajas que se han discutido se pueden conseguir independientemente en diversas realizaciones de la presente descripción o pueden combinarse en otras realizaciones, cuyos detalles adicionales se pueden ver con referencia a la siguiente descripción y dibujos a continuación.

Breve descripción de los dibujos

- 5 Estas y otras características de la presente descripción se harán más evidentes haciendo referencia a los dibujos, en los que los números iguales se refieren a partes iguales en todo y en los que:
- La figura 1 es una ilustración en perspectiva de una realización de una prensa para aplicar fuerza de compresión a una pieza de trabajo durante el calentamiento por inducción de la pieza de trabajo;
- 10 La figura 2 es una ilustración en perspectiva de una realización de una matriz inferior montada en la prensa y que tiene una lámina de cara de susceptor soportada por la matriz inferior y que está configurada para recibir la pieza de trabajo para su calentamiento inductivo;
- La Figura 3 es una ilustración esquemática de una vista lateral de una realización de matrices superior e inferior en una posición abierta y que tiene láminas correspondientes de cara del susceptor superiores e inferiores montadas en la misma y que ilustra además porciones de bobina superior e inferior para calentar inductivamente las láminas de cara de susceptor superior e inferior en una realización;
- 15 La figura 4 es una ilustración esquemática de vista lateral de las matrices superior e inferior en una posición cerrada que tiene una pieza de trabajo sujeta entre las láminas de la cara del susceptor e ilustra una realización de la interconexión de las porciones de la bobina superior e inferior y el flujo de la corriente eléctrica en la bobina de inducción causando flujo de corriente inductiva en las láminas de cara del susceptor;
- 20 La figura 5 es una vista en sección de las matrices superior e inferior tomada a lo largo de la línea 5 de la figura 4 y que ilustra un campo magnético generado en respuesta al flujo de corriente eléctrica en la bobina de inducción y en el que las líneas de flujo del campo magnético están orientadas perpendicularmente a la dirección del flujo de corriente eléctrica en la bobina de inducción;
- 25 La Figura 6 es una vista en sección transversal ampliada de una porción de las láminas de cara de susceptor superior e inferior tomadas a lo largo de la línea 6 de la Figura 5 y que ilustra la dirección del flujo de corriente inductiva en las láminas de cara de susceptor;
- La Figura 7 es una ilustración en sección esquemática de una lámina de cara de susceptor en un estado magnético y que ilustra la concentración de flujo de corriente inductiva adyacente a las superficies de la lámina de cara de susceptor;
- 30 La Figura 8 es una leyenda que ilustra la densidad de corriente relativa correspondiente a la densidad de corriente de la lámina de cara de susceptor en el estado magnético de la Figura 7;
- La Figura 9 es un gráfico de la densidad de la corriente frente al espesor del susceptor para la lámina de cara del susceptor en el estado magnético mostrado en la Figura 7 y que ilustra una magnitud relativamente alta de la densidad de corriente y su concentración adyacente a las superficies de la lámina de cara del susceptor y la disminución exponencial de la densidad de corriente que se mueve hacia el interior alejándose de las superficies de la lámina de cara del susceptor;
- 35 La Figura 10 es una ilustración en sección esquemática de una lámina de cara de susceptor en un estado no magnético y que ilustra la disminución sustancialmente uniforme en la densidad de corriente que se mueve hacia adentro alejándose de las superficies de la lámina de cara de susceptor;
- 40 La figura 11 es una leyenda que ilustra la densidad de corriente relativa correspondiente a la densidad de corriente de la lámina de cara de susceptor en el estado no magnético de la figura 10;
- La Figura 12 es un gráfico de la densidad de la corriente frente al espesor del susceptor para la lámina de cara del susceptor en el estado magnético de la Figura 10 y que ilustra la magnitud reducida de la densidad de corriente y una disminución sustancialmente uniforme de la densidad de corriente moviéndose hacia dentro alejándose de las superficies de la lámina de cara;
- 45 La figura 13 es un gráfico de la permeabilidad magnética frente a la temperatura de un material de aleación ferromagnética e ilustra la decadencia exponencial en la permeabilidad magnética a medida que la temperatura se aproxima a la temperatura Curie y que ilustra además los puntos de temperatura de equilibrio bajos y altos que

representan el ajuste de un parámetro actual de la bobina de inducción para variar la temperatura de equilibrio;

La figura 14 es un gráfico de tres perfiles térmicos diferentes de un material ferromagnético calentado por inducción mediante corriente alterna aplicada a una bobina de inducción a diferentes frecuencias y/o amperajes y que ilustra su efecto sobre la temperatura de equilibrio y la velocidad de calentamiento de la aleación ferromagnética;

5 La figura 15 es un gráfico de los perfiles térmicos de una pluralidad de posiciones diferentes en una lámina de cara del susceptor e ilustra la uniformidad de la temperatura en los diferentes lugares debido al calentamiento inductivo y que ilustra adicionalmente la capacidad de ciclo térmico de la lámina de cara del susceptor mediante enfriamiento activo;

10 La figura 16 es un diagrama de varias aleaciones ferromagnéticas de una amplia variedad de aleaciones ferromagnéticas a partir de las cuales pueden formarse las láminas de la cara del susceptor; y

La figura 17 es una ilustración de un diagrama de flujo de un método para calentar inductivamente una pieza de trabajo y ajustar uno o más parámetros de calentamiento de la pieza de trabajo alterando uno o más parámetros de corriente de la corriente alterna tales como la frecuencia y/o amperaje de la corriente alterna aplicado a la bobina de inducción.

15 Descripción detallada

Haciendo referencia ahora a los dibujos en los que las proyecciones son para fines de ilustración de realizaciones preferidas y diversas de la descripción solamente, se muestra en la Figura 1 una ilustración de una realización de una prensa 12 que puede usarse para aplicar la fuerza 14 de compresión a una pieza 150 de trabajo (Figura 3) durante el calentamiento inductivo de la pieza 150 de trabajo. La prensa 12 puede ser implementada para su uso en la formación de la pieza 150 de trabajo en un artículo 154 (Figura 4). El calentamiento de la pieza 150 de trabajo puede realizarse usando una o más láminas de cara de susceptor tales como láminas 50, 52 de cara de susceptor superior e inferior que pueden estar acopladas operativamente a la prensa 12. Por ejemplo, láminas 50, 52 de cara de susceptor superior y/o inferior se pueden montar en las matrices 24, 26 superior e inferior respectivas de la prensa 12.

20 Las láminas 50, 52 de cara susceptible superior y/o inferior pueden estar formadas de un material 66 de aleación ferromagnética eléctricamente conductor que tiene una temperatura Curie que depende de la composición de la aleación 66 ferromagnética. A este respecto, la aleación 66 ferromagnética a partir de la cual se forman las láminas 50, 52 de cara de susceptor superior y/o inferior pueden seleccionarse en base a la temperatura deseada a la que se puede calentar la pieza 150 de trabajo. Por ejemplo, se puede seleccionar la composición de aleación 66 ferromagnética que tiene una temperatura Curie que da como resultado una temperatura de equilibrio en las láminas 50, 52 de cara de susceptor superior y/o inferior que coincide o corresponde aproximadamente con una temperatura deseada de la pieza 150 tal como la temperatura de procesamiento de la pieza 150 de trabajo. La temperatura de procesamiento puede comprender una temperatura de fusión o una temperatura de transición vítrea de la resina 158 (figura 4) en una preforma 156 termoplástica. Sin embargo, la temperatura deseada puede comprender también una temperatura de curado para curar una temperatura matriz de una pieza 150 de trabajo termoendurecible. La temperatura deseada puede comprender también una temperatura de tratamiento térmico deseada para el tratamiento térmico de una pieza de trabajo 150 metálica, u otras temperaturas asociadas con el procesamiento de una pieza de trabajo.

40 En la Figura 1, las láminas 50, 52 de cara de susceptor superior y/o inferior pueden formar parte de un sistema 72 de calentamiento por inducción. Las láminas 50, 52 de cara de susceptor superior y/o inferior pueden calentarse inductivamente a una temperatura de equilibrio en respuesta al flujo de corriente 86 alterna (Figura 4) a través de una o más de las bobinas 76 de inducción. Las bobinas 76 de inducción pueden estar montadas adyacentes a las matrices 24, 26 superior e inferior. Una o más bobinas 76 de inducción pueden generar un campo 90 magnético (figura 5) en respuesta al flujo de corriente 86 alterna a través de las bobinas 76 de inducción. El campo 90 magnético puede acoplarse magnéticamente con las láminas 50, 52 superior y/o inferior de la cara del susceptor y provocar el calentamiento inductivo de las láminas 50, 52 hasta la temperatura de equilibrio que puede aproximarse a la temperatura Curie. A este respecto, a medida que la temperatura de las láminas 50, 52 de la cara del susceptor se aproxima a la temperatura Curie, las propiedades magnéticas de la aleación 66 ferromagnética pueden empezar a decaer lo que puede dar lugar a una reducción en el calentamiento inductivo de las láminas 50, 52, las porciones de las láminas 50, 52 de la cara del susceptor que han alcanzado la temperatura de equilibrio pueden llegar a ser no magnéticas de tal manera que el flujo de la corriente 94 inductiva en tales partes de las láminas 50, 52 de la cara del susceptor disminuya automáticamente hasta un nivel suficiente para estabilizar o mantener la temperatura de equilibrio de las láminas 50, 52 de la cara del susceptor. De esta manera, la pieza 150 de trabajo puede calentarse de forma sustancialmente uniforme.

55 Ventajosamente, el sistema 10 y el método descritos en el presente documento también pueden incluir un medio

para ajustar la frecuencia de la corriente 86 alterna (Figura 4) como un medio para afinar, cambiar, ajustar o desplazar la temperatura de equilibrio y/o la temperatura de equilibrio de la velocidad de calentamiento de las láminas 50, 52 superior y/o inferior de la cara del susceptor. Además, el sistema 10 y el método pueden proporcionar un medio para ajustar la amplitud o amperaje (A) de la corriente 86 alterna como un medio para afinar, cambiar, ajustar o desplazar la temperatura de equilibrio o la velocidad de calentamiento de las láminas 50, 52 superior y/o inferior de la cara del susceptor. Por ejemplo, el sistema 10 puede proporcionar un medio para aumentar la frecuencia y/o el amperaje de la corriente 86 alterna para provocar un aumento de la temperatura de equilibrio de las láminas 50, 52 superiores y/o inferiores de la cara del susceptor. De esta manera, la temperatura de la lámina de cara del susceptor se puede ajustar dentro de un cierto intervalo de temperatura para que coincida más con la temperatura deseada de la pieza 150 de trabajo.

Ventajosamente, controlando la frecuencia y/o el amperaje de la corriente alterna, la temperatura de equilibrio y la velocidad de calentamiento de las láminas de la cara del susceptor pueden estar sustancialmente adaptadas a la temperatura y velocidad de calentamiento deseadas de la pieza de trabajo sin necesidad de formular una nueva composición de aleación 66s ferromagnética y sin la necesidad de adquirir una aleación 66 ferromagnética diferente que tenga una temperatura Curie ligeramente superior. A este respecto, el sistema 10 y el método aquí divulgados proporcionan un medio para ajustar la temperatura de equilibrio y la velocidad de calentamiento de las láminas de cara de susceptor y evitar el tiempo y el gasto asociados con la creación de nuevas aleaciones 66s de aleación ferromagnética tales como vía metalurgia de polvo o búsqueda de la aleación 66s ferromagnéticas difíciles de encontrar. De esta manera, el sistema 10 divulgado en la presente proporciona una manera rentable y eficiente en el tiempo en la que se puede afinar o alcanzar sustancialmente una temperatura deseada de la pieza 150 de trabajo utilizando aleación 66s ferromagnética disponible para las láminas de cara de susceptor. Por ejemplo, puede utilizarse una aleación 66s ferromagnéticas comercialmente disponible para formar las láminas de superficie de susceptor en las que la aleación 66 ferromagnética da como resultado una temperatura de equilibrio que coincide aproximadamente con una temperatura deseada para calentar, moldear, conformar, comprimir, consolidar, curar, conformar o de otro modo, de una pieza 150 de trabajo. El sistema 10 descrito aquí puede proporcionar un medio para afinar o ajustar más estrechamente la temperatura deseada o la temperatura de procesamiento de una pieza 150 de trabajo compuesta o afinar la temperatura para un tratamiento térmico dado de una pieza 150 de trabajo metálica tal como un proceso de recocido.

Haciendo referencia a la figura 1, se muestra una realización de la prensa 12 que puede incluir herramientas 16, 18 superior e inferior. Las matrices 24, 26 superior e inferior pueden montarse en unas respectivas de las herramientas 16, 18 superior e inferior la herramienta 16 superior y/o la herramienta 18 inferior pueden estar montadas en uno o más postes 20 para desplazar de manera deslizante las matrices superiores o inferiores hacia y fuera entre sí entre las posiciones 30, 28 cerrada y abierta. La pieza 150 de trabajo de amperaje puede estar colocada entre las láminas 50, 52 de cara de susceptor superior e inferior en la posición abierta, después de lo cual las matrices 24, 26 superior e inferior pueden moverse una hacia la otra para sujetar la pieza 150 de trabajo entre las láminas 50, 52 de cara de susceptor superior e inferior tal como para consolidar una pieza 150 de trabajo compuesta.

Las bobinas 76 de inducción y las láminas de cara de susceptor pueden formar parte de un sistema 72 de calentamiento por inducción que se puede incluir con la prensa 12. El sistema 72 de calentamiento por inducción puede incluir una fuente 74 de alimentación para suministrar corriente 86 alterna (Figura 4) a una o más bobinas 76 de inducción que pueden extenderse a través de recortes o penetraciones 44 que pueden formarse en las laminaciones 34 de las matrices 24, 26 superior e inferior. Como se ha indicado anteriormente y se describe con mayor detalle a continuación, la corriente 86 alterna a través de las bobinas 76 de inducción puede generar un campo 90 magnético (Figura 5) alrededor de las láminas 50, 52 superior y/o inferior de superficie de susceptor. El campo magnético puede provocar un calentamiento inductivo de las láminas de cara de susceptor hasta una temperatura de equilibrio. Ventajosamente, el sistema 72 de calentamiento por inducción puede incluir un controlador 88 de corriente que puede estar acoplado a las bobinas 76 de inducción para controlar uno o más parámetros de corriente de la corriente 86 alterna. Por ejemplo, el controlador 88 de corriente puede configurarse para ajustar la frecuencia de la corriente 86 alterna para provocar un cambio en al menos un parámetro de calentamiento de la lámina de cara del susceptor. En una realización mencionada anteriormente, el controlador 88 de corriente puede estar configurado para ajustar la frecuencia de la corriente 86 alterna para provocar un cambio en la temperatura de equilibrio de la lámina de cara de susceptor. El controlador 88 de corriente también puede configurarse para ajustar la frecuencia de la corriente 86 alterna para cambiar la velocidad de calentamiento de la lámina de cara de susceptor que, a su vez, puede causar un cambio en la velocidad de calentamiento de la pieza 150 de trabajo. El controlador 88 de corriente también se puede configura para ajustar el amperaje de la corriente 86 alterna para provocar un cambio en la temperatura de equilibrio de las láminas de cara de susceptor o un cambio en la velocidad de calentamiento de las láminas de cara de susceptor, como se describe con mayor detalle a continuación.

En la Figura 1, el sistema 72 de calentamiento por inducción puede incluir un sistema 100 de enfriamiento para enfriar activamente las láminas de cara de susceptor. Sin embargo, el sistema 100 de enfriamiento puede estar opcionalmente configurado para enfriar las láminas de cara de susceptor mediante medios pasivos (no mostrados). En una realización, el sistema 100 de enfriamiento puede incluir una fuente de refrigerante desde la cual un

refrigerante puede dirigirse a las matrices 24, 26 superior e inferior por medio de uno o más conductos 102 de refrigerante. El refrigerante puede proporcionarse en forma líquida y/o de gas. Las líneas 104 de refrigerante pueden extenderse a través de las matrices 24, 26 superior e inferior de tal manera que el refrigerante tal como el gas 106 de refrigeración pueda dirigirse hacia una superficie 56, 60 posterior de las láminas de cara del susceptor para enfriar las láminas de la cara del susceptor. De esta manera, la temperatura de la pieza 150 de trabajo puede reducirse de una manera relativamente rápida y controlada y mantenerse a una temperatura reducida durante un período de tiempo deseado que puede facilitar la optimización de propiedades mecánicas o físicas en la pieza 150 de trabajo.

Haciendo referencia a la figura 2, se muestra una realización de una matriz 26 inferior para soportar la lámina de cara de susceptor inferior. La matriz 26 inferior y la lámina 52 de cara de susceptor inferior descrita en el presente documento pueden configurarse sustancialmente similares a la matriz 24 superior y la lámina superior de cara de susceptor 50 mostrada en la figura 1 de tal manera que la siguiente descripción de la matriz 26 inferior una lámina 52 inferior de cara del susceptor puede ser aplicable a la matriz 24 superior y a la lámina superior de cara del susceptor. En la realización mostrada en la Figura 2, la matriz 26 inferior puede estar compuesta por una pluralidad de placas o láminas 34 relativamente delgadas dispuestas en relación espaciada entre sí para definir una serie de espacios o separaciones 38 entre las laminaciones 34. Una o más porciones 82 de bobina inferiores pueden extenderse a través de penetraciones 44 formadas en las laminaciones 34.

Las laminaciones 34 pueden estar orientadas generalmente perpendicularmente a una o más bobinas 76 de inducción y pueden estar orientadas a lo largo de una dirección generalmente paralela a la dirección de una fuerza 14 de compresión (Figura 4) que puede ser aplicada por la prensa 12. Debido a la alineación de las láminas 34 con la orientación de la fuerza 14 de compresión, las láminas 34 pueden transferir efectivamente la fuerza 14 de compresión a las láminas 50, 52 de cara de susceptor. Ventajosamente, la separación 38 entre las laminaciones 34 puede minimizar la interferencia con la energía electromagnética emitida por el campo 90 magnético (Figura 5) causada por la corriente 86 alterna (Figura 4) que pasa a través de las bobinas 76 de inducción definidas colectivamente por las porciones 82 de bobina superior e inferior cuando están conectadas eléctricamente entre sí. A este respecto, la separación 38 entre las laminaciones 34 puede dar como resultado que el campo 90 magnético se acople principalmente a la lámina 52 de cara de susceptor inferior con acoplamiento mínimo a las laminaciones 34.

Las láminas 34 de la matriz 26 inferior pueden definir una superficie 46 de matriz que puede incluir un contorno que se forma complementario a una forma final de un artículo 154 (Figura 4) que se ha de formar a partir de una pieza 150 de trabajo para ser calentada por la lámina de cara del susceptor inferior. La lámina 52 de cara de susceptor inferior puede tener una superficie 60 posterior opuesta a la superficie de molde 54. Las láminas 34 de la matriz 26 inferior pueden ser conformadas complementariamente a la superficie de lado posterior de la lámina de cara de susceptor inferior. Las láminas 34 pueden estar unidas a la lámina 52 de cara de susceptor inferior por cualquier medio tal como mediante soldadura por puntos. Las laminaciones 34 pueden estar formadas de material relativamente delgado (por ejemplo, de 0,100 a 0,50 pulgadas de grosor) que puede ser un material generalmente no magnético tal como acero inoxidable austenítico proporcionado en cualquiera de una variedad de diferentes aleaciones. Las láminas 34 también pueden estar formadas de material cerámico u otro material que es generalmente no magnético. Las laminaciones 34 también pueden estar formadas de material que tiene un nivel relativamente bajo de conductividad térmica para minimizar los efectos de inercia térmica de las laminaciones 34 en la lámina de cara de susceptor inferior. Sin embargo, las laminaciones 34 pueden estar formadas de cualquier material, sin limitación, incluyendo material magnético o material no magnético e incluyendo material que tiene un nivel relativamente bajo de conductividad térmica o un nivel relativamente alto de conductividad térmica.

En la figura 2, la pluralidad de porciones 82 de bobina inferiores que se extienden a través de la matriz 26 inferior pueden estar emparejadas en cantidad por una pluralidad correspondiente de porciones de bobina superior 78 (Figura 1) que se extienden a través de la matriz 24 superior (Figura 1). Las porciones de bobina inferiores 82 pueden conectarse eléctricamente a las porciones 78 de bobina superiores (Figura 3) cuando las matrices 24, 26 superior e inferior están en la posición cerrada 30 (Figura 4) y el circuito eléctrico de una o más bobinas 76 de inducción está terminado. En una realización, la conexión de las porciones 78, 82 de bobina superior e inferior puede formar una bobina 76 de inducción bobinada en espiral en la que el conector 84 de extremo en un extremo de una de las porciones 78, 82 de bobina inferiores está conectado eléctricamente a una bobina superior que es diferente de la porción 78 de bobina superior a la cual está conectado el conector 84 de extremo en un extremo opuesto de la porción 82 de bobina inferior. Cuando el sistema 10 se ve desde el extremo como se muestra en la figura 4, la configuración en espiral de las porciones 78, 82 de bobina superior e inferior interconectadas puede tener una forma rectangular. Sin embargo, la configuración en espiral de la bobina 76 de inducción puede tener una forma distinta a una forma rectangular que depende de la forma o configuración de las porciones 78, 82 de bobina superior e inferior. Las bobinas 76 de inducción pueden estar configuradas para conducir la corriente 86 alterna (la disposición de una o más bobinas 76 de inducción formadas por la interconexión de las porciones 78, 82 de bobina superior e inferior puede dar como resultado calentamiento inductivo uniforme a lo largo de la longitud y anchura de la lámina 50, 52 de cara de susceptor superior e inferior.

La figura 2 ilustra una realización del sistema 100 de enfriamiento activo que incluye una pluralidad de líneas 104 de refrigerante colocadas por encima de una o más bobinas 76 de inducción. Como se mencionó anteriormente, las líneas 104 de refrigerante pueden llevar un medio de enfriamiento para enfriar la parte superior y/o láminas de cara de susceptor inferior 50, 52 (Figura 1). En una realización, las líneas 104 de refrigerante pueden transportar un gas 106 para el enfriamiento por aire forzado de láminas 50, 52 de cara de susceptor superior y/o inferior. Por ejemplo, el gas 106 de refrigeración puede dirigirse contra la superficie 60 posterior de la lámina 52 de cara de susceptor inferior para reducir la temperatura de la lámina 52 de cara de susceptor inferior. La lámina 50 de cara de susceptor superior puede enfriarse activamente de la misma manera que la lámina 52 de cara de susceptor inferior. En una realización, las líneas 104 de refrigerante pueden estar formadas de un material generalmente no magnético tal como un material polimérico tal como polietere tercetona (PEEK). Sin embargo, las líneas 104 de refrigerante pueden estar formadas de cualquiera de una variedad de material diferente incluyendo materiales magnéticos.

Haciendo referencia a la figura 3, se muestran las matrices 24, 26 superior e inferior en una posición 28 abierta con la pieza 150 de trabajo colocada entre las láminas 50, 52 superior e inferior de cara de susceptor antes de extraer las matrices 24, 26 superior e inferior para sujetar la pieza 150 de trabajo entre ellas. La pieza 150 de trabajo se puede proporcionar en una variedad de formas, tamaños, configuraciones y materiales. Por ejemplo, la pieza 150 de trabajo puede proporcionarse como una preforma 152 para un artículo compuesto (no mostrado) tal como una preforma 156 termoplástica para ser calentada y consolidada entre las láminas 50, 52 de cara de susceptor superiores e inferiores. La preforma 152 puede estar provista en una forma que se aproxima a la forma final del artículo 154 para ser formada a partir de la preforma 152. Las superficies 54, 58 de molde de las láminas 50, 52 de cara de susceptor superior e inferior también pueden ser conformadas o contorneadas complementarias a la forma final del artículo 154 desde el cual se forma la preforma 152.

Las láminas 50, 52 de cara de susceptor superior e inferior pueden estar formadas de una aleación 66 ferromagnética que tiene una temperatura Curie correspondiente a una temperatura deseada asociada con el procesamiento de una pieza 150 de trabajo. Por ejemplo, la aleación 66 ferromagnética puede seleccionarse teniendo una temperatura Curie que se aproxima a una temperatura de procesamiento de una preforma 156 termoplástica. A este respecto, las láminas 50, 52 superior e inferior de superficie susceptor pueden estar formadas de una aleación 66 ferromagnética que tiene una temperatura Curie que se aproxima a una temperatura de fusión o una temperatura de transición vítrea de la preforma 156 termoplástica. Sin embargo, como se indicó anteriormente, el sistema 10 descrito en el presente documento puede ser implementado para formar piezas de trabajo compuestas de cualquiera de una variedad de materiales diferentes incluyendo preformas compuestas formadas de materiales termoendurecibles y/o piezas metálicas que pueden ser tratadas térmicamente utilizando el sistema 10 y el método descrito en el presente documento.

Las láminas 50, 52 de cara de susceptor superior e inferior pueden proporcionarse en un espesor relativamente pequeño para mejorar el calentamiento inductivo de las láminas 50, 52 de cara de susceptor en respuesta al campo 90 magnético (Figura 5) generado por la corriente 86 alterna (Figura 4) que fluye a través de las bobinas 76 de inducción. Por ejemplo, cada una de las láminas 50, 52 de cara de susceptor superior e inferior puede tener un espesor en el intervalo de aproximadamente 0,050 a 0,25 pulgadas. En una realización, las láminas 50, 52 superior e inferior de cara de susceptor pueden proporcionarse cada una en un espesor de aproximadamente 0,100 a 0,150 pulgadas. Sin embargo, las láminas 50, 52 de cara de susceptor superior e inferior pueden formarse en cualquier grosor, sin limitación. En una realización, las láminas 50, 52 de cara de susceptor superior e inferior pueden formarse mecanizando la forma contorneada de las superficies 54, 58 de molde y/o las superficies de lado posterior 56, 60 de un bloque de material 66 de aleación ferromagnética o placa de una aleación 66 ferromagnética. Sin embargo, las láminas 50, 52 de cara de susceptor superior e inferior pueden estar formadas de chapa metálica que se puede conformar doblando la chapa en los contornos deseados o utilizando cualquiera de una variedad de otros procesos de conformación automáticos o manuales.

Haciendo referencia a la figura 4, se muestran las matrices 24, 26 superior e inferior en una posición 30 cerrada con la pieza 150 de trabajo sujeta entre ellas. Una fuerza 14 de compresión puede ser aplicada por la prensa 12 para conformar o consolidar la pieza 150 de trabajo. El movimiento de las matrices 24, 26 superior e inferior en la posición 30 cerrada hace que los conectores 80, 84 de extremo de las porciones de bobina 82 superior e inferior cierre el circuito de las bobinas de inducción. La corriente 86 alterna puede proporcionarse a las bobinas 76 de inducción mediante una fuente 74 de alimentación de tal manera que un flujo de corriente pasa a través de las bobinas 76 de inducción. El flujo de corriente de corriente 86 alterna a través de la bobina 76 de inducción da como resultado corriente 94 inductiva (figura 4) que fluye en las láminas 50, 52 superior e inferior de la cara del susceptor y generando un campo 90 magnético (Figura 5) que provoca el calentamiento inductivo de las láminas 50, 52 superior e inferior de la cara del susceptor y el calentamiento conductor de la pieza 150 de trabajo debido al contacto térmico de la pieza 150 de trabajo con las láminas 50, 52 de cara de susceptor superior e inferior.

Haciendo referencia a la Figura 5, se muestra una vista en sección de las matrices 24, 26 superior e inferior y las láminas 50, 52 superior e inferior de la Figura 6 con la pieza 150 sujeta entre ellas y que ilustra el campo 90 magnético generado por la corriente 86 alterna que fluye a través de las bobinas 76 de inducción. El campo 90 magnético se ilustra mediante una pluralidad de líneas 92 de flujo orientadas generalmente perpendicularmente con

respecto a la dirección de la corriente 86 alterna que fluyen a través de las bobinas 76 de inducción ilustradas en la Figura 4. A temperaturas por debajo de la temperatura Curie, el campo 90 magnético puede acoplarse magnéticamente con la aleación 66 ferromagnética de las láminas 50, 52 superior e inferior de la cara del susceptor. La disposición de las láminas 34 relativamente delgadas y separadas entre sí que forman las matrices 24, 26 superior e inferior puede minimizar la interferencia con el campo 90 magnético generado por la corriente 86 alterna que pasa a través de las bobinas 76 de inducción.

Debe observarse que la disposición de una o más bobinas 76 de inducción ilustradas en las figuras 1 y 2-5 no debe interpretarse como limitaciones de las disposiciones alternativas para las bobinas 76 de inducción. A este respecto, las figuras 1 y 4 ilustran una bobina 76 de inducción formada interconectando la porción de bobina superior e inferior para formar una bobina de inducción bobinada 76 en espiral en la que el conector 84 de extremo en un extremo de una de las porciones 78, 82 de bobina inferiores está conectado eléctricamente a una porción 78 de bobina superior que es diferente de la porción 78 de bobina superior a la que está conectado el conector 84 de extremo en un extremo opuesto de la parte de bobina 82 inferior como se ha descrito anteriormente. Dicha disposición en espiral de la bobina 76 de inducción resulta ventajosamente en la formación del campo 90 magnético (Figura 5) que tiene líneas 92 de flujo (Figura 5) orientadas generalmente similares a las que se ilustran en la Figura 5. Además, tal disposición de la bobina 76 de inducción da lugar además ventajosamente a la concentración de la densidad de corriente 94 inductiva (Figura 5) a lo largo de las superficies externas de las láminas 50, 52 de superficie del susceptor (Figura 6), tales como a lo largo de las superficies 54, 58 de molde (Figura 6) y las superficies 56, 60 posteriores (Figura 6) cuando la aleación 66 ferromagnética (Figura 6) de las láminas 50, 52 de cara de susceptor está en un estado magnético (Figura 9).

Sin embargo, el sistema 10 descrito aquí puede incluir cualquiera de una variedad de disposiciones alternativas de bobinas 76 de inducción y no está limitado a una bobina de inducción bobinada 76 en espiral como se muestra en las figuras 1 y 4 y descritas anteriormente. En cualquiera de una variedad de realizaciones (no mostradas), una o más bobinas 76 de inducción pueden estar dispuestas para maximizar el acoplamiento magnético con la aleación 66 ferromagnética (Figura 5) de las láminas 50, 52 de cara de susceptor (Figura 5) y dar como resultado un campo 90 magnético (Figura 5) que hace que la densidad de corriente 94 inductiva (Figura 6) sea concentrada adyacente a las superficies externas de las láminas 50, 52 de cara de susceptor cuando las láminas 50, 52 de cara de susceptor están en el estado magnético (figura 9). Además, a este respecto, la aleación 66 ferromagnética de las láminas 50, 52 de cara de susceptor puede seleccionarse para maximizar la cancelación del flujo de corriente 94 inductiva en las láminas 50, 52 de cara de susceptor durante la desintegración de las propiedades magnéticas de la aleación 66 ferromagnética cuando la temperatura de las láminas 50, 52 de la cara del susceptor se aproxima a la temperatura Curie. La aleación 66 ferromagnética puede seleccionarse también para proporcionar un acoplamiento magnético máximo con el campo 90 magnético y la densidad de corriente máxima (figura 9) para una frecuencia o rango de frecuencia dado de la corriente 86 alterna.

Haciendo referencia a la figura 6, se muestra una vista en sección parcial de una parte de las láminas 50, 52 superior e inferior de la cara del susceptor y que muestra la pieza 150 sujeta entre ellas. El flujo de corriente 94 inductiva (figura 4) se puede ver circulando dentro de cada una de las láminas 50, 52 de cara de susceptor superior e inferior en respuesta al campo 90 magnético (figura 5) generado por el flujo de corriente 86 alterna (figura 4) a través de la bobina 76 de inducción (Figura 4). La pieza 150 de trabajo (por ejemplo, una preforma 152) está en contacto térmico con las superficies 54, 58 de molde de las láminas 50, 52 de cara de susceptor superior e inferior. El calentamiento de las láminas de superficie de susceptor superior e inferior 50, 52 como resultado del flujo de corriente 86 alterna a través de la bobina 76 de inducción provoca el calentamiento conductor de la pieza 150 de trabajo. El flujo de corriente 94 inductiva en las láminas 50, 52 de cara de susceptor puede ser generalmente concentrado adyacente a las superficies externas de las láminas 50, 52 tal como a lo largo de las superficies 54, 58 de molde y las superficies de fondo posterior 56, 60 cuando la aleación 66 ferromagnética de las láminas 50, 52 de cara de susceptor está en un estado magnético cuando la temperatura es inferior a la temperatura Curie de la aleación 66 ferromagnética.

Haciendo referencia a las figuras 7-9, se muestra en la figura 7 una ilustración esquemática de una porción de una lámina 200 de cara de susceptor en la que se mide el flujo de corriente 94 inductiva (figura 4) con la lámina 200 de cara de susceptor en un estado 206 magnético a una temperatura por debajo de la temperatura Curie. La Figura 7 ilustra la concentración de flujo de corriente 94 inductiva a lo largo de las superficies 204 externas de la lámina 200 de cara de susceptor. La Figura 8 es una leyenda que indica densidad 212 de corriente total que corresponde a diferentes lugares a través de la sección de la lámina 200 de cara de susceptor ilustrada en la Figura 7. Como se puede ver en la figura 7, la lámina 200 de cara de susceptor tiene una densidad 218 de corriente relativamente alta adyacente a las superficies 204 externas y una densidad 220 de corriente relativamente baja en las porciones interiores de la lámina 200 de cara de susceptor. La densidad 212 de la corriente total frente al espesor 214 del susceptor para la lámina de cara del susceptor 200 ilustrada esquemáticamente en la figura 7. La figura 9 ilustra gráficamente la densidad 218 de corriente relativamente alta concentrada en las superficies 204 externas de la lámina 200 de la cara del susceptor y la desintegración 210 exponencial en densidad de corriente moviéndose hacia el interior alejándose de las superficies 204 externas de la lámina 200 de la cara del susceptor en el estado 206 magnético. En la figura 9, la densidad de corriente en las superficies 204 exteriores se muestra como

aproximadamente $3,8 \times 10^7$ amperios/metro².

Haciendo referencia a las figuras 10-12, se muestra una ilustración esquemática de una porción de la misma lámina 200 de cara de susceptor que se muestra en la figura 7. Sin embargo, la lámina 200 de cara de susceptor en la figura 10 se muestra en un estado 208 no magnético como puede ocurrir después de un período de tiempo cuando la lámina 200 de cara de susceptor ha experimentado un calentamiento inductivo y la temperatura de la lámina 200 de cara de susceptor se aproxima o se acerca a la temperatura Curie de la aleación 66 ferromagnética a partir de la cual se forma la lámina 200 de cara de susceptor. Debido a la cancelación de corriente (no mostrada) que se produce en un material magnético que se aproxima o a la temperatura de Curie, la Figura 10 ilustra la densidad 220 de corriente baja resultante a lo largo de las superficies 204 externas (por ejemplo, la superficie de la línea del molde, de la lámina 200 de cara del susceptor con respecto a la concentración de alta densidad 218 de corriente en las superficies 204 externas de la lámina 200 de cara de susceptor en el estado magnético mostrado en la figura 9.

La figura 11 es una leyenda que indica la densidad 212 de corriente total que corresponde a diferentes lugares a través de la sección de la lámina 200 de cara de susceptor ilustrada en la figura 10. La figura 12 es un gráfico de densidad 212 de corriente total frente al grosor de susceptor 214 para la lámina 200 de cara de susceptor ilustrada esquemáticamente en la Figura 10. La Figura 12 ilustra gráficamente una magnitud reducida de densidad de corriente de aproximadamente $5,0 \times 10^6$ amperios/metro² a lo largo de las superficies 204 externas de la lámina 200 de cara de susceptor en el estado 208 no magnético con respecto a la densidad de corriente de mayor magnitud de aproximadamente $3,8 \times 10^7$ amperios/metro² para la lámina 200 de cara de susceptor mostrada en el estado magnético mostrado en la figura 9. A este respecto, la densidad de corriente para la lámina 200 de superficie de susceptor en el estado 208 no magnético mostrado en la figura 12 es casi un orden de magnitud inferior a la densidad de corriente para la lámina 200 de cara de susceptor en el estado magnético mostrado en la figura 9. La figura 12 ilustra también un descenso sustancialmente uniforme o lineal en la densidad de corriente que se mueve hacia adentro alejándose de las superficies 204 externas de la lámina 200 de cara de susceptor en contraste con la disminución exponencial en la densidad de corriente para la lámina 200 de cara de susceptor en el magnético como se muestra en la Figura 9.

La figura 13 es un gráfico de la permeabilidad 230 magnética frente a la temperatura 232 de un material de aleación ferromagnética y que ilustra la caída 234 exponencial de una curva que representa la permeabilidad 230 magnética de una lámina de superficie de susceptor (no mostrada) formada de una aleación ferromagnética a medida que la temperatura 232 se aproxima a la temperatura 236 Curie de la aleación ferromagnética. La Figura 13 ilustra además un punto de equilibrio bajo de temperatura 238 en la curva y un punto de equilibrio de temperatura 240 alto en la curva. El punto de equilibrio de temperatura 238 bajo de la curva corresponde a una permeabilidad magnética relativamente alta de la lámina de cara del susceptor correspondiente a una frecuencia más baja de la corriente alterna (no mostrada) que fluye a través de una bobina de inducción (no mostrada). El punto de equilibrio de temperatura 240 alto en la curva corresponde a una permeabilidad magnética relativamente más baja de la lámina de cara del susceptor, que requiere una mayor frecuencia de una corriente alterna que fluye a través de la bobina de inducción. Tal como se ha descrito con relación a la gráfica de la figura 7, cuando la lámina 200 de cara de susceptor está en un estado magnético, la densidad de corriente se concentra a lo largo de las superficies externas de la lámina de cara de susceptor. A medida que se incrementa la frecuencia de la corriente alterna, se concentra una mayor porción de la corriente a lo largo de una superficie externa de la lámina de cara del susceptor que aumenta la cantidad de área de sección transversal que puede estar disponible en la lámina de cara del susceptor para incrementar la densidad del flujo de corriente inductiva. De esta manera, para un grosor de susceptor dado, el ajuste de la corriente alterna para aumentar la frecuencia da como resultado un aumento de la temperatura de equilibrio de una lámina de cara de susceptor.

Ventajosamente, el sistema 10 descrito aquí proporciona un medio para ajustar la frecuencia de la corriente 86 alterna (Figura 4), por ejemplo utilizando un controlador 88 de corriente como se ilustra en las Figuras 1 y 4. En una realización, la corriente 86 alterna puede suministrarse a una o más bobinas 76 de inducción (Figura 4) en un intervalo de frecuencias de aproximadamente 1 kHz a 300 kHz. Por ejemplo, la corriente 86 alterna puede proporcionarse en un intervalo de frecuencias de aproximadamente 2 kHz a 20 kHz. El amperaje de la corriente 86 alterna puede proporcionarse a las bobinas 76 de inducción dentro de un intervalo entre aproximadamente 10 amperios y 10.000 amperios aunque la corriente 86 alterna puede proporcionarse en amperajes menores de 10 amperios o mayores de 10.000 amperios. La corriente 86 alterna también se puede proporcionar en una tensión entre aproximadamente 10 voltios y 300 voltios, aunque la corriente 86 alterna puede proporcionarse en voltajes menores que 10 voltios o mayores que 300 voltios.

En una realización, el controlador 88 de corriente (Figura 4) puede acoplarse a la bobina 76 de inducción (Figura 4) y puede estar configurado para ajustar la corriente 86 alterna (Figura 4) de manera que produzca un cambio en uno o más parámetros de calentamiento de la lámina de cara del susceptor. Por ejemplo, el controlador 88 de corriente puede configurarse para ajustar la corriente 86 alterna para provocar un cambio o cambio en la temperatura de equilibrio de la lámina de cara de susceptor 50, 52 (Figura 4). El controlador 88 de corriente puede estar configurado para ajustar la frecuencia de la corriente 86 alterna proporcionada a la bobina 76 de inducción durante el calentamiento inicial de la lámina de cara de susceptor y/o el controlador 88 de corriente puede configurarse para

ajustar la frecuencia de la corriente 86 alterna al alcanzar una temperatura de equilibrio inicial en la lámina de cara del susceptor para aumentar o disminuir la temperatura de equilibrio de la lámina de cara del susceptor.

5 En una realización, el controlador 88 de corriente (Figura 4) puede configurarse para ajustar la frecuencia de la corriente 86 alterna para efectuar un cambio o desplazamiento en la temperatura de equilibrio entre aproximadamente 5 y 15 grados Fahrenheit desde una temperatura de equilibrio inicial, aunque el controlador 88 de corriente puede configurarse para ajustar la frecuencia de la corriente 86 alterna para causar un desplazamiento en la temperatura de equilibrio inferior a 5 grados F o superior a 15 grados F. En una realización, el controlador 88 de corriente puede ajustar la frecuencia de la corriente 86 alterna para causar un desplazamiento en la temperatura de equilibrio de aproximadamente más o menos 7 grados Fahrenheit desde una temperatura de equilibrio inicial de las láminas 50, 52 de cara de susceptor (Figura 4) aunque el controlador 88 de corriente puede configurarse para causar (es decir, mayor que más o menos 7 grados F) desplazamientos más grandes en la temperatura de equilibrio de las láminas 50, 52 de la cara del susceptor. La magnitud del desplazamiento en la temperatura de equilibrio puede basarse en la magnitud del cambio en la frecuencia de la corriente 86 alterna.

15 En una realización, un aumento o disminución en la frecuencia de la corriente 86 alterna hasta un factor de 2 o mayor puede dar como resultado un aumento o disminución correspondiente en la temperatura de equilibrio entre aproximadamente 5 y 15 grados Fahrenheit. Por ejemplo, un aumento en la frecuencia de la corriente 86 alterna de aproximadamente 10 kHz a 20 kHz puede dar como resultado un aumento de la temperatura de equilibrio entre aproximadamente 5 y 15 grados Fahrenheit. Del mismo modo, una disminución de la frecuencia de la corriente 86 alterna de aproximadamente 20 kHz a 10 kHz puede dar como resultado una disminución de la temperatura de equilibrio entre aproximadamente 5 y 15 grados Fahrenheit. En otro ejemplo, un aumento en la frecuencia de la corriente 86 alterna de aproximadamente 20 kHz a 40 kHz puede dar como resultado un aumento de la temperatura de equilibrio entre aproximadamente 5 y 15 grados Fahrenheit. A este respecto, la magnitud del aumento o disminución de la frecuencia de la corriente 86 alterna para efectuar un aumento o disminución deseado en la temperatura de equilibrio de las láminas 50, 52 de la cara del susceptor se basa en la frecuencia de la corriente 86 alterna en la temperatura de equilibrio inicial. Una frecuencia relativamente más alta de la corriente 86 alterna a una temperatura de equilibrio dada puede requerir un aumento o una disminución correspondientemente mayor en la frecuencia para efectuar un aumento o disminución dado en la temperatura de equilibrio de las láminas 50, 52 de la cara del susceptor.

25 La magnitud del desplazamiento de la temperatura de equilibrio también puede depender de la composición de la aleación 66 ferromagnética a partir de la cual se forman las láminas 50, 52 de la cara del susceptor. Por ejemplo, ciertas composiciones de la aleación 66 ferromagnética (Figura 4) pueden proporcionar un intervalo relativamente más amplio de temperaturas de equilibrio para un intervalo dado de cambios de frecuencia en comparación con el intervalo de temperaturas de equilibrio que puede resultar del uso de una composición de aleación ferromagnética diferente sometida al mismo rango de cambios de frecuencia en la corriente 86 alterna.

30 El controlador 88 de corriente (Figura 1) también se puede configurar para ajustar el amperaje de la corriente 86 alterna (Figura 4) para provocar un cambio en uno o más parámetros de calentamiento de las láminas 50, 52 de cara de susceptor. Por ejemplo, el controlador 88 de corriente puede estar configurado para ajustar el amperaje para cambiar o desplazar la temperatura de equilibrio de las láminas 50, 52 de cara de susceptor de tal manera que cause un aumento o una disminución de la temperatura de equilibrio de las láminas 50, 52 de cara de susceptor. Por ejemplo, el controlador 88 de corriente puede configurarse para ajustar el amperaje de la corriente 86 alterna en al menos aproximadamente 10 amperios o más y provocar el cambio en la temperatura de equilibrio entre aproximadamente 5 a 15 grados Fahrenheit aunque el controlador 88 de corriente puede configurarse para ajuste del amperaje para causar cambios en la temperatura de equilibrio inferior a 5 grados F o mayor que 15 grados F. El controlador 88 de corriente también puede configurarse para ajustar el amperaje de la corriente 86 alterna para cambiar la velocidad de calentamiento de las láminas 50, 52 de la cara del susceptor.

35 Haciendo referencia a la figura 14, se muestra un gráfico de tres perfiles 256, 258, 260 térmicos diferentes del mismo material susceptor de aleación ferromagnética de níquel acero (no mostrado) calentado por inducción mediante una corriente alterna (no mostrada) aplicada a una bobina de inducción (no mostrada) a diferentes frecuencias y/o amperajes diferentes. El primer perfil 256 térmico es el resultado de la aplicación de una corriente alterna de 20 amps (A) a 10 kHz. El segundo perfil 258 térmico es el resultado de la aplicación de una corriente alterna de 40 amperios a 10 kHz a la misma aleación 66 ferromagnética de níquel-acero representada por el primer perfil 256 térmico. Como puede verse en la figura 14, el aumento en el amperaje desde 20 amperios en el primer perfil 256 térmico a 40 amperios en el segundo perfil 258 térmico da como resultado un aumento desde la primera tasa 268 de calentamiento relativamente baja del primer perfil 256 térmico a una segunda tasa 270 de calentamiento relativamente más alta del segundo perfil 258 térmico. Además, el aumento de amperaje de la corriente alterna desde el primer perfil 256 térmico al segundo perfil 258 térmico da como resultado un aumento desde la primera temperatura 262 de equilibrio del primer perfil 256 térmico hasta una segunda temperatura 264 de equilibrio más alta del segundo perfil 258 térmico.

La figura 14 ilustra también las diferencias en el efecto del cambio de frecuencia en la temperatura de equilibrio con relación al efecto del cambio de amperaje en la temperatura de equilibrio. Por ejemplo, una tercera temperatura 266 de equilibrio superior en el tercer perfil 260 térmico es el resultado de la aplicación de un amperaje inferior de 30 amperios a 20.000 Hz (20 kHz) de frecuencia con respecto a un amperaje mayor de 40 amperios a una frecuencia inferior de 10 kHz En el segundo perfil 258 térmico que indica que, al menos para la composición de aleación ferromagnética de acero al níquel (no mostrada) representada en la Figura 14, la frecuencia puede ser dominante (por ejemplo, en relación con el amperaje) al efectuar el cambio en la temperatura de equilibrio. Como puede apreciarse, los perfiles 256, 258, 260 térmicos ilustrados en la figura 14 no deben interpretarse como límites de rangos alternativos para ajustar la frecuencia o el amperaje de la corriente alterna (no mostrada) aplicada a un susceptor. A este respecto, el sistema 10 descrito aquí puede implementarse con cualquier intervalo de cambios de frecuencia de la corriente alterna y cualquier intervalo de cambios de amperaje de la corriente alterna.

Haciendo referencia a la figura 15, se muestra una representación gráfica de perfiles 280 térmicos sustancialmente similares a una pluralidad de termopares (no mostrados) montados en diferentes posiciones en una lámina de superficie de susceptor (no mostrada) para ilustrar la uniformidad de temperatura en los diferentes lugares debido al uso de una aleación ferromagnética (no mostrada) y para ilustrar ciclos térmicos utilizando el sistema 10 (figura 1) descrito en el presente documento. Ventajosamente, la uniformidad de la temperatura a través de la longitud y anchura de una lámina de cara de susceptor puede proporcionarse ventajosamente por el material de aleación ferromagnética en el que porciones de la lámina de cara de susceptor que han alcanzado una temperatura de equilibrio pueden llegar a ser no magnéticas tal que el flujo de corriente inductiva en tales porciones de la lámina de cara del susceptor disminuye automáticamente hasta un nivel suficiente para estabilizar la temperatura de la porción a la temperatura de equilibrio. Las porciones de una lámina de cara de susceptor que están por debajo de la temperatura de equilibrio permanecen en un estado magnético provocando un calentamiento localizado continuo de tales porciones de la lámina de cara de susceptor hasta que dichas porciones también alcancen la temperatura de equilibrio.

En la Figura 15, puede verse que cada uno de los perfiles 280 térmicos aumenta desde una temperatura 282 inicial a sustancialmente la misma velocidad de calentamiento y alcanza sustancialmente la misma primera temperatura 284 de equilibrio dentro de un primer período 288 de tiempo. La Figura 15 ilustra el mantenimiento sustancial de la primera temperatura 284 de equilibrio durante un segundo periodo 290 de tiempo después del cual puede detenerse el flujo de corriente alterna (no mostrado) a las bobinas de inducción (no mostradas). El enfriamiento activo (no mostrado) puede entonces proporcionarse a la lámina de cara del susceptor (no mostrada) para reducir la primera temperatura 284 de equilibrio a una segunda temperatura 286 de equilibrio durante un tercer periodo 292 de tiempo. Por ejemplo, un sistema de refrigeración (no mostrado) puede dirigir el gas de enfriamiento (no mostrado) sobre la lámina de la cara del susceptor (no mostrado) para reducir la temperatura de la lámina de cara del susceptor a la segunda temperatura 286 de equilibrio de una manera controlada usando calor residual en la pieza de trabajo (no mostrada) y/o calor residual en la lámina de cara del susceptor. De esta manera, se puede usar el sistema 100 de enfriamiento activo para controlar la velocidad a la que se reducen la temperatura de la pieza de trabajo y la lámina de cara del susceptor. Como se ha indicado anteriormente, la capacidad para controlar la velocidad de calentamiento y enfriamiento de una pieza de trabajo tal como una preforma termoplástica puede facilitar la optimización de las propiedades mecánicas y/o físicas del artículo final.

La Figura 16 es el diagrama 290 de los elementos de aleación 66 ferromagnética, hierro, cobalto y níquel y que puede seleccionarse en una cualquiera de una variedad de diferentes proporciones entre sí o con respecto a otras aleaciones para conseguir las características de calentamiento deseadas de una lámina de cara de susceptor (no mostrada). A este respecto, se pueden seleccionar diferentes combinaciones de aleaciones para proporcionar una temperatura de equilibrio deseada en una lámina de cara de susceptor o un intervalo deseado de temperaturas de equilibrio que puede ser alcanzable en una lámina de cara de susceptor ajustando uno o más parámetros de corriente de una corriente alterna no ilustrado) que fluye a través de una bobina de inducción (no mostrada). Como se ha indicado anteriormente, tales parámetros de corriente pueden incluir la frecuencia y el amperaje de la corriente alterna que fluye en la bobina de inducción. Los parámetros de corriente se pueden ajustar para efectuar cambios en uno o más parámetros de calentamiento de la lámina de cara del susceptor. Por ejemplo, los parámetros de corriente pueden ajustarse para efectuar un aumento o una disminución de la temperatura de equilibrio o un aumento o una disminución en la velocidad de calentamiento de la lámina de cara del susceptor. Además, se pueden seleccionar diferentes combinaciones de aleaciones para proporcionar intervalos más grandes o más pequeños sobre los cuales se puede desplazar la temperatura de equilibrio o rangos mayores o más pequeños sobre los cuales se puede ajustar la velocidad de calentamiento cambiando la frecuencia de la corriente alterna en una cantidad dada o por cambio del amperaje de la corriente alterna en una cantidad dada.

Haciendo referencia a la figura 17, se muestra un diagrama de flujo de un método 300 de calentamiento inductivo de una pieza 150 de trabajo (figura 4). Ventajosamente, el método incluye el ajuste de uno o más parámetros de calentamiento de una pieza 150 de trabajo alterando uno o más parámetros de corriente de la corriente 86 alterna (Figura 4). Por ejemplo, el método puede incluir el ajuste de la frecuencia y/o el amperaje de una corriente alterna aplicada a una bobina 76 de inducción (Figura 4) para provocar un cambio en la temperatura de equilibrio de una lámina de cara de susceptor (Figura 4) y/o para provocar un cambio en la velocidad de calentamiento de la lámina

de cara del susceptor.

- 5 En la etapa 302 del método 300 de la figura 17, la corriente 86 alterna (figura 4) se puede aplicar a una o más bobinas 76 de inducción (figura 4). Una o más láminas 50, 52 de cara de susceptor (Figura 4) pueden estar montadas adyacentes a las bobinas 76 de inducción. Las láminas 50, 52 de cara de susceptor pueden estar formadas de una aleación 66 ferromagnética (Figura 4) que tiene una temperatura Curie. La temperatura Curie puede corresponder a una temperatura deseada de una pieza 150 de trabajo (Figura 4) en contacto con las láminas 50, 52 de cara de susceptor. En una realización, la pieza 150 de trabajo puede estar intercalada entre al menos dos láminas 50, 52 de cara de susceptor que tiene superficies 54, 58 moldeadas que pueden ser configuradas complementariamente a la forma final de un artículo formado a partir de la pieza 150 de trabajo.
- 10 La etapa 304 del método 300 de la Figura 17 puede comprender la generación de un campo 90 magnético (Figura 5) a lo largo de las láminas 50, 52 (Figura 4) en respuesta a la aplicación de la corriente 86 alterna (Figura 4) a las bobinas 76 de inducción. Por ejemplo, la figura 4 ilustra la aplicación del flujo de corriente 86 a través de la bobina 76 de inducción (figura 4) formada por la conexión eléctrica de las porciones 78, 82 de bobina superior e inferior (figura 4) cuando la parte superior e inferior de las matrices 24, 26 (Figura 4) están en la posición cerrada 30 (Figura 4).
- 15 La etapa 306 del método 300 de la Figura 17 puede comprender el calentamiento inductivo de las láminas 50, 52 (Figura 4) de cara de susceptor a una temperatura de equilibrio que se aproxima a la temperatura Curie. Las láminas 50, 52 de cara de susceptor pueden calentarse en respuesta al campo 90 magnético (Figura 5) generado como se muestra en la Figura 5. Las láminas 50, 52 de cara de susceptor pueden acoplarse magnéticamente al campo 90 magnético dando como resultado un calentamiento inductivo de las láminas 50, 52 de la cara del susceptor.
- 20 La etapa 308 del método 300 de la Figura 17 puede comprender un calentamiento conductivo de la pieza 150 de trabajo (Figura 4) que puede estar en contacto térmico con las láminas 50, 52 de cara de susceptor (Figura 4). El contacto térmico de la pieza 150 de trabajo con las láminas 50, 52 de cara de susceptor puede causar un aumento en la temperatura de la pieza 150 de trabajo debido a la transferencia de calor conductiva de las láminas 50, 52 de cara de susceptor a la pieza 150 de trabajo. La temperatura de las láminas, 50, 52 (Figura 4) puede estabilizarse a una temperatura de equilibrio por debajo de la temperatura Curie. A este respecto, el calentamiento inductivo de las láminas 50, 52 de la cara del susceptor puede disminuir a medida que la temperatura de las láminas 50, 52 de la cara del susceptor se acerca a la temperatura Curie y las propiedades magnéticas (por ejemplo, permeabilidad) de la aleación 66 ferromagnética (Figura 4) Comienzan a decaer. La descomposición de las propiedades magnéticas puede resultar en una reducción en el calentamiento inductivo de las láminas 50, 52 de la cara del susceptor. La temperatura de las láminas 50, 52 de la cara del susceptor puede estabilizarse cuando el flujo de la corriente 94 inductiva (Figura 4) Las láminas de cara 50, 52 disminuyen automáticamente a un nivel suficiente para mantener la temperatura de las láminas 50, 52 de cara de susceptor a la temperatura de equilibrio.
- 25 La etapa 310 del método 300 de la figura 17 puede comprender el ajuste de al menos un parámetro de corriente de la corriente 86 alterna (figura 4). Por ejemplo, el parámetro actual puede comprender la frecuencia de la corriente 86 alterna o el amperaje de la corriente 86 alterna. La frecuencia de la corriente 86 alterna puede aumentarse o disminuirse dentro de un intervalo predeterminado. El amperaje también se puede aumentar o disminuir dentro de un intervalo predeterminado.
- 30 La etapa 312 del método 300 de la figura 17 puede comprender cambiar al menos una característica de calentamiento de la lámina de cara de susceptor en respuesta al ajuste de uno o más parámetros de corriente de la corriente 86 alterna (figura 4). Por ejemplo, el parámetro de calentamiento puede comprender la temperatura de equilibrio de la lámina de cara del susceptor que puede desplazarse cambiando o ajustando la frecuencia o el amperaje de la corriente 86 alterna. El parámetro de calentamiento también puede comprender la velocidad de calentamiento a la cual la lámina de cara del susceptor se calienta y que puede ser aumentada o disminuida aumentando o disminuyendo respectivamente el amperaje de la corriente 86 alterna.
- 35 La etapa 314 del método 300 de la figura 17 puede comprender alterar el calentamiento de la pieza 150 de trabajo (Figura 4) en respuesta al ajuste de la característica de calentamiento de las láminas 50, 52 (Figura 4) de la cara del susceptor. Por ejemplo, la temperatura de la pieza 150 de trabajo puede aumentarse aumentando la frecuencia y/o el amperaje de la corriente 86 alterna (figura 4). La velocidad de calentamiento de la pieza 150 de trabajo también se puede cambiar cambiando la frecuencia o amperaje de la corriente 86 alterna (Figura 4). Por ejemplo, la velocidad de calentamiento de la pieza 150 de trabajo puede aumentarse aumentando la frecuencia y/o aumentando el amperaje de la corriente 86 alterna. Por el contrario, la velocidad de calentamiento de la pieza 150 de trabajo puede disminuirse disminuyendo la frecuencia de la corriente 86 alterna y/o disminuyendo el amperaje de la corriente 86 alterna.
- 40 El método de calentamiento inductivo de la pieza 150 de trabajo (Figura 4) puede incluir también la selección de una aleación 66 ferromagnética (Figura 4) a partir de la cual pueden formarse las láminas 50, 52 (Figura 4) de cara de susceptor que son compatibles con los rangos de temperaturas sobre los cuales puede calentarse la pieza 150 de
- 45
- 50
- 55

5 trabajo (Figura 4). A este respecto, el método puede incluir la selección de una aleación 66 ferromagnética que tiene una temperatura Curie que corresponde a una temperatura de procesamiento deseada de la pieza 150 de trabajo. La aleación 66 ferromagnética puede seleccionarse teniendo una temperatura Curie tal que la temperatura de equilibrio de las láminas 50, 52 de cara de susceptor está dentro de un intervalo predeterminado de la temperatura deseada de la pieza 150 de trabajo.

10 Por ejemplo, se puede seleccionar una aleación 66 ferromagnética que proporcione una temperatura Curie que da como resultado una temperatura de equilibrio en las láminas 50, 52 (Figura 4) de la cara del susceptor que es equivalente o superior a una temperatura de fusión o una transición vítrea de la resina 158 termoplástica (Figura 4) en una preforma 156 termoplástica (Figura 4). La corriente 86 alterna (figura 4) también puede seleccionarse para permitir el ajuste fino de la temperatura de equilibrio de las láminas 50, 52 de cara de susceptor ajustando la frecuencia o amperaje de la corriente 86 alterna de manera que la temperatura de la preforma 152 pueda ser aumentada o disminuida según sea necesario para alcanzar un nivel deseado de viscosidad de la resina 158 termoplástica en una preforma 156 termoplástica para facilitar una distribución sustancialmente uniforme de la resina 158 a través del material fibroso (no mostrado) de la preforma 152 durante su consolidación.

15

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (72) para calentar inductivamente una pieza (150) de trabajo, que comprende:
- una bobina (76) de inducción configurada para conducir una corriente (86) alterna y generar un campo (90) magnético en respuesta a la corriente (86) alterna;
- 5 al menos una lámina (50) de cara de susceptor configurada para tener una pieza (150) de trabajo colocada con la misma, estando formada la lámina (50) de cara de susceptor de una aleación (66) ferromagnética que tiene una temperatura Curie y que puede calentarse inductivamente a una temperatura de equilibrio aproximándose a la temperatura Curie en respuesta al campo (90) magnético; y
- 10 un controlador (88) de corriente acoplado a la bobina (76) de inducción y configurado para ajustar una frecuencia de la corriente (86) alterna y/o un amperaje de la corriente (86) alterna de manera que se produzca un cambio en la temperatura de equilibrio de la lámina de cara de susceptor y/o una velocidad de calentamiento de la lámina (50) de cara de susceptor.
2. El sistema (72) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores en donde:
- 15 la corriente (86) alterna tiene una gama de frecuencias de aproximadamente 1 kHz a 300 kHz y la corriente (86) alterna tiene un amperaje de entre aproximadamente 10 amperios y 10.000 amperios.
3. Sistema (72) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde:
- la bobina (76) de inducción comprende una pluralidad de porciones (78, 82) de bobina superior e inferior que se extienden a través de una pluralidad de laminaciones (34).
4. El sistema (72) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores en donde:
- 20 la bobina (76) de inducción comprende una porción (78) de bobina superior y una porción (82) de bobina inferior; y
- las porciones de bobina (78, 82) superior e inferior están acopladas eléctricamente una con otra para formar una bobina (76) de inducción cuando una pieza (150) de trabajo se sujeta entre un par de láminas (50, 52) de cara de susceptor.
5. El sistema (72) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además:
- 25 un sistema (100) de enfriamiento para enfriar la lámina (50) de cara de susceptor; y
- una prensa (12) para aplicar una fuerza (14) de compresión a la pieza (150) de trabajo.
6. Un método de calentamiento inductivo, que comprende las etapas de:
- 30 aplicar una corriente (86) alterna a una bobina (76) de inducción que tiene al menos una lámina (50) de cara de susceptor montada adyacente a ella, estando formada la lámina (50) de cara de susceptor de una aleación (66) ferromagnética conductora de electricidad que tiene una temperatura Curie;
- generar un campo (90) magnético;
- calentar inductivamente la lámina (50) de cara de susceptor a una temperatura de equilibrio que se aproxima a la temperatura Curie en respuesta al campo (90) magnético;
- 35 ajustar al menos un parámetro de corriente de la corriente (86) alterna utilizando un controlador (88) de corriente acoplado a la bobina (76) de inducción y configurado para ajustar una frecuencia de la corriente (86) alterna y/o un amperaje de la corriente (86) alterna de una manera que provoca un cambio en la temperatura de equilibrio de la lámina de cara del susceptor y/o una velocidad de calentamiento de la lámina (50) de cara de susceptor.
7. El método de la reivindicación 6, en el que la etapa de ajustar la frecuencia comprende:
- 40 ajustar la frecuencia de la corriente (86) alterna de manera que la temperatura de equilibrio de la lámina (50) de cara de susceptor cambie en aproximadamente 5 a 15 grados Fahrenheit.

8. El método de cualquiera de las reivindicaciones 6, 7 que comprende además las etapas de:
aplicar una fuerza (14) de compresión a una pieza (150) de trabajo; y
enfriar activamente la lámina (50) de cara de susceptor.

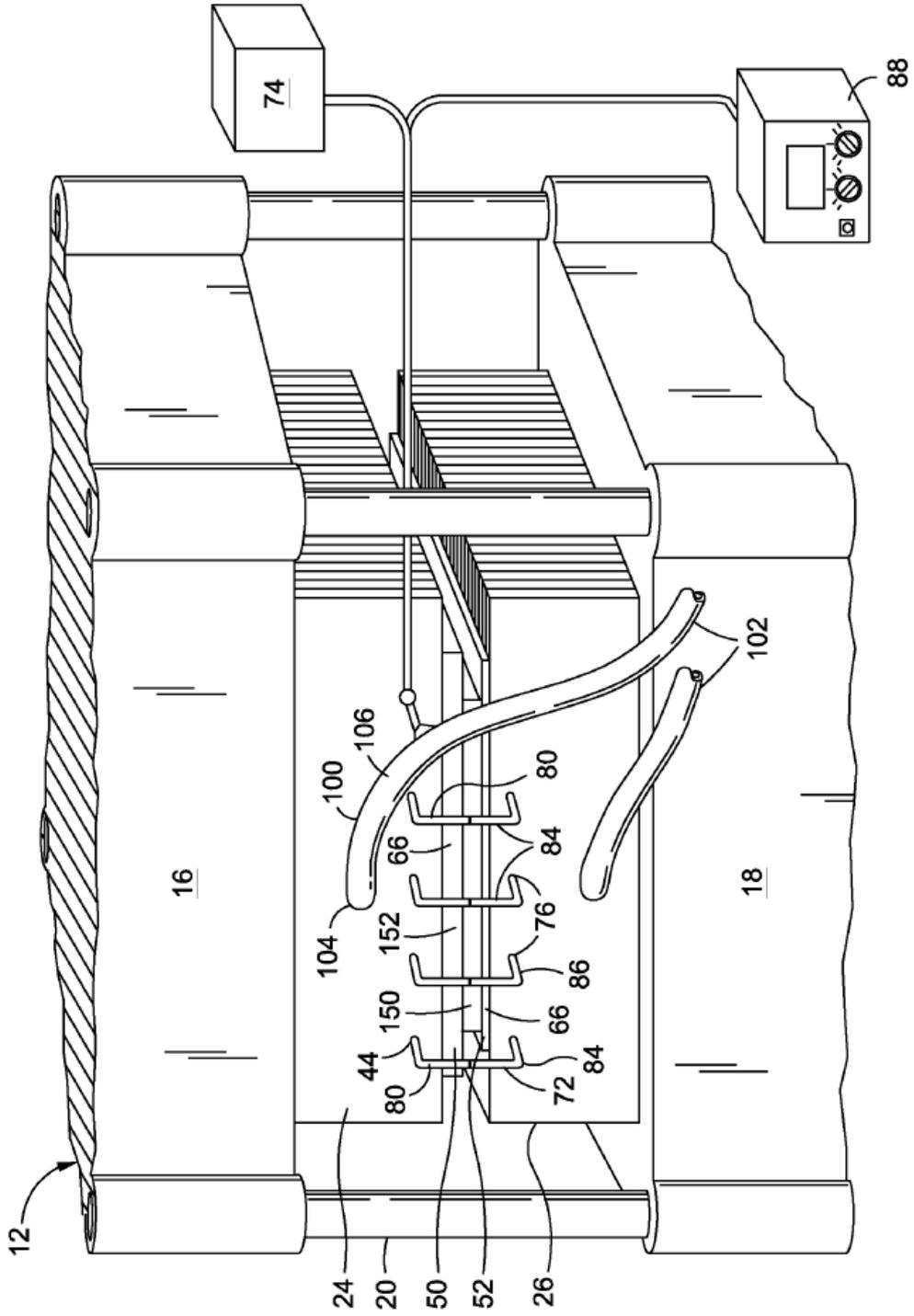


FIG. 1

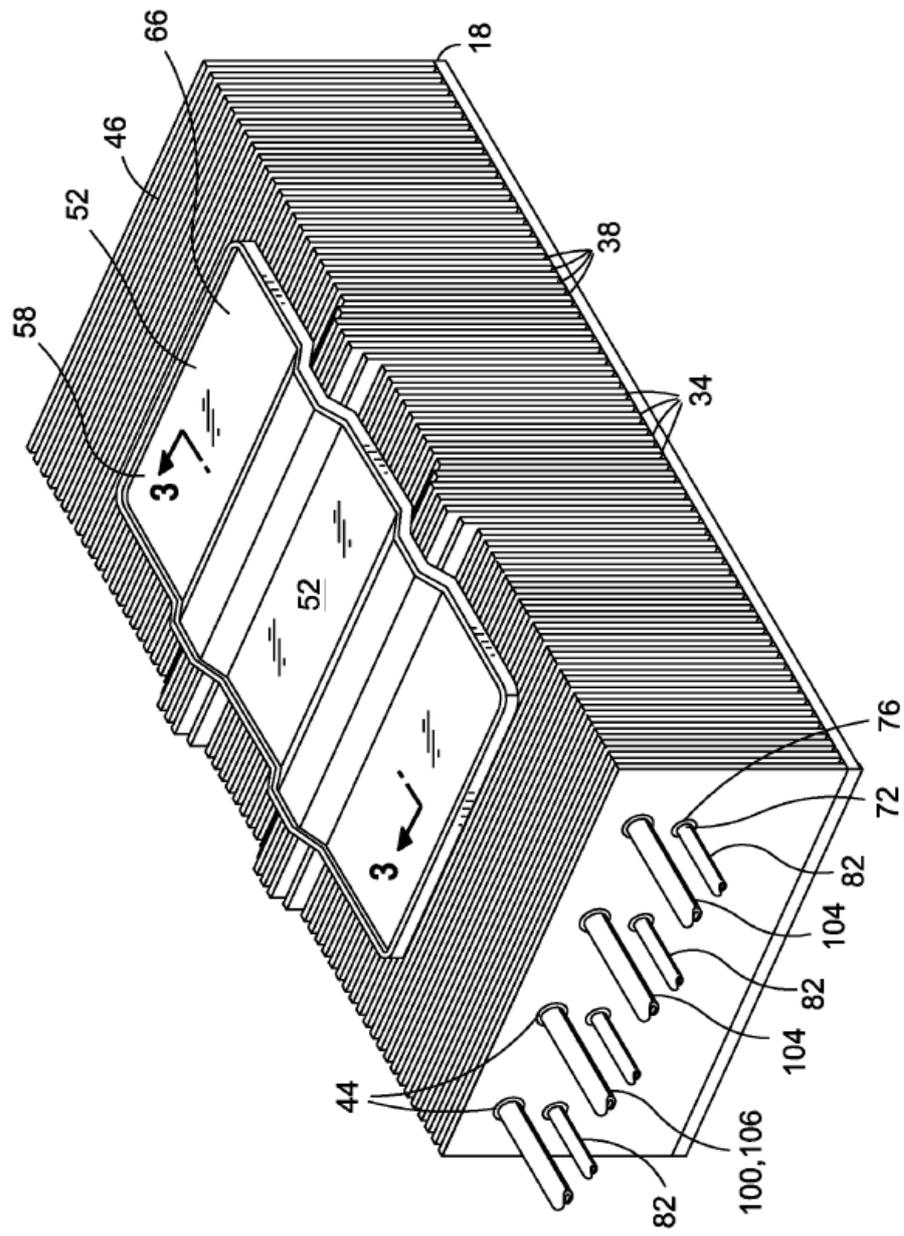


FIG. 2

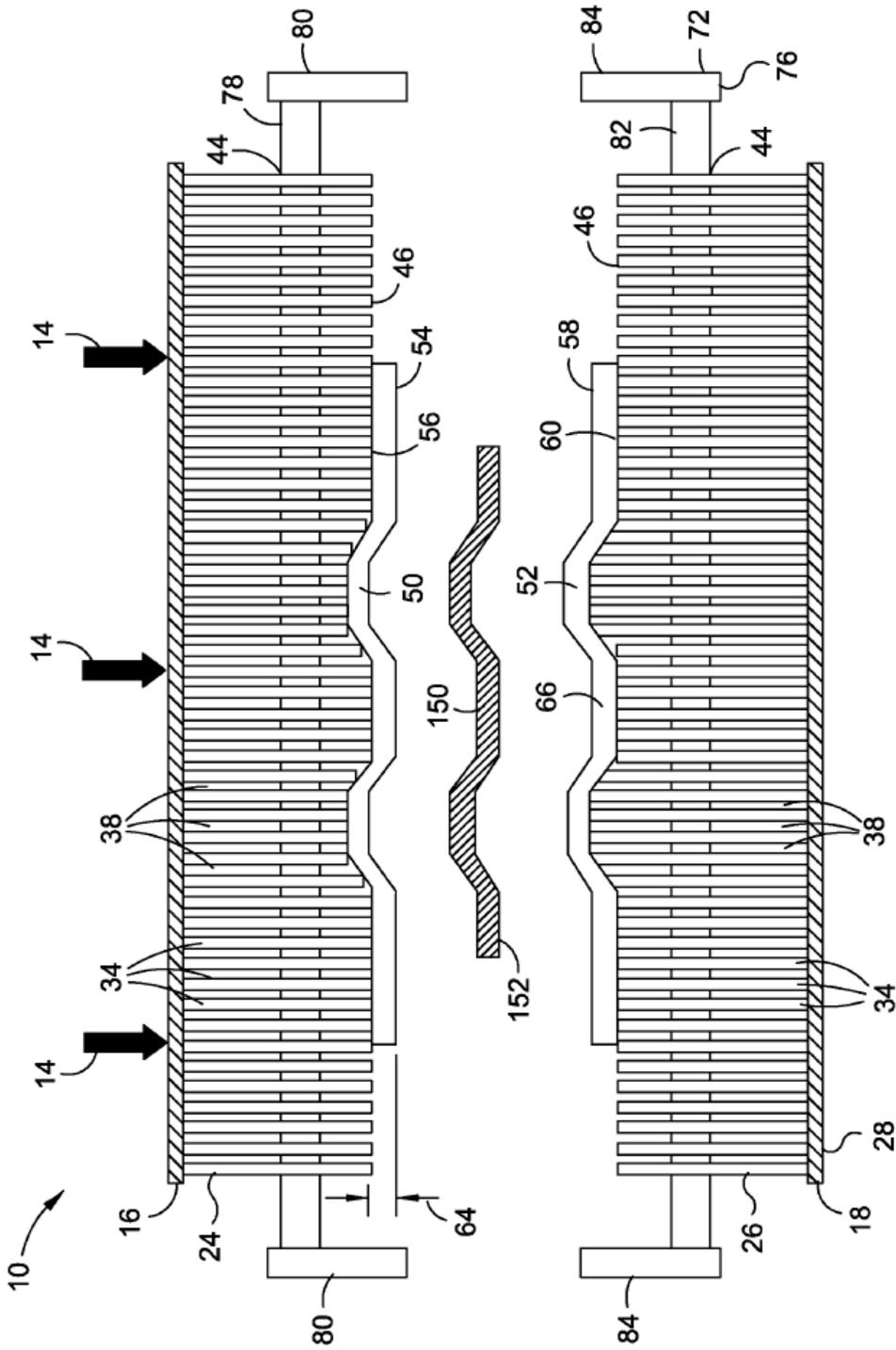


FIG. 3

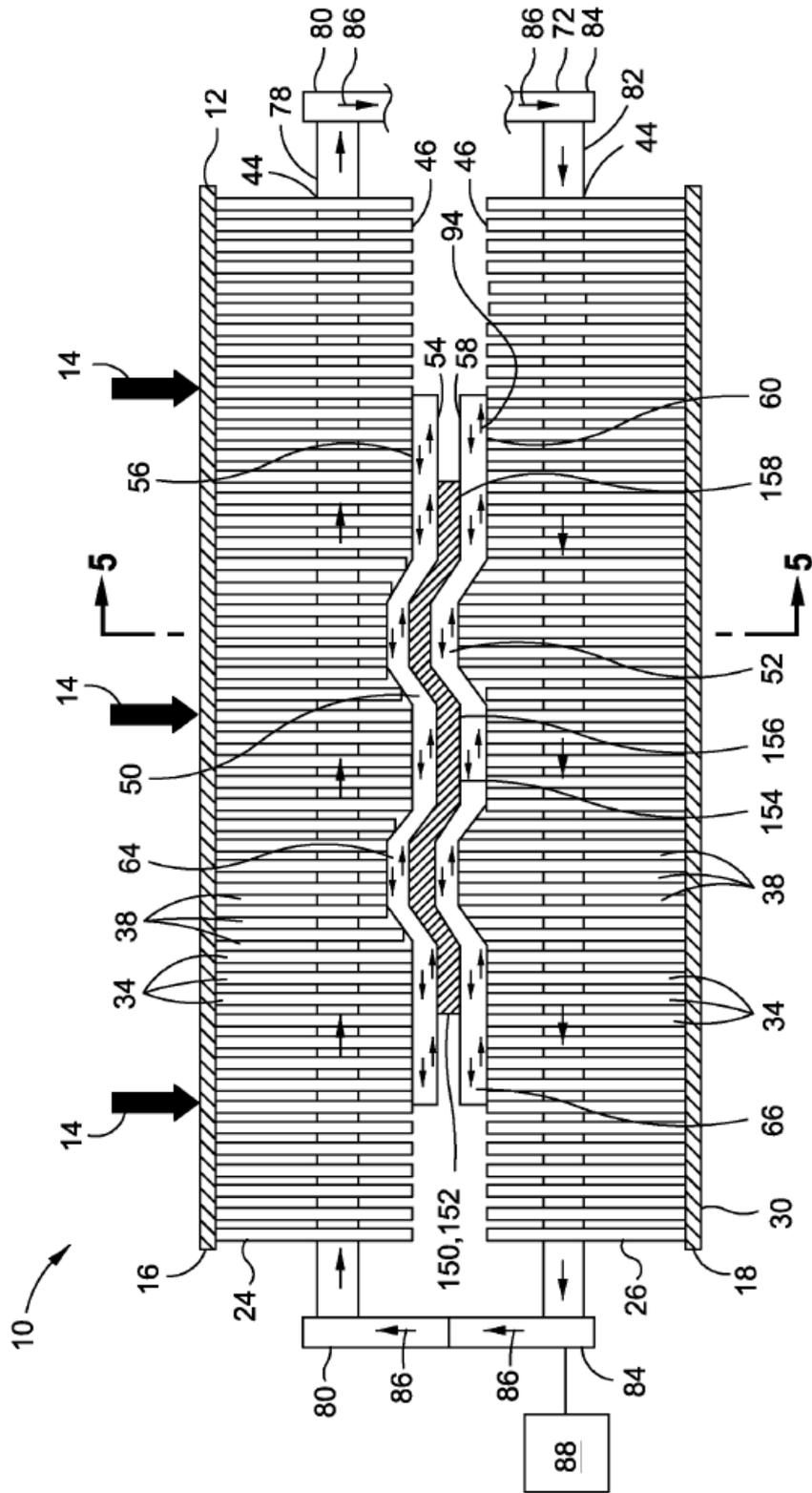


FIG. 4

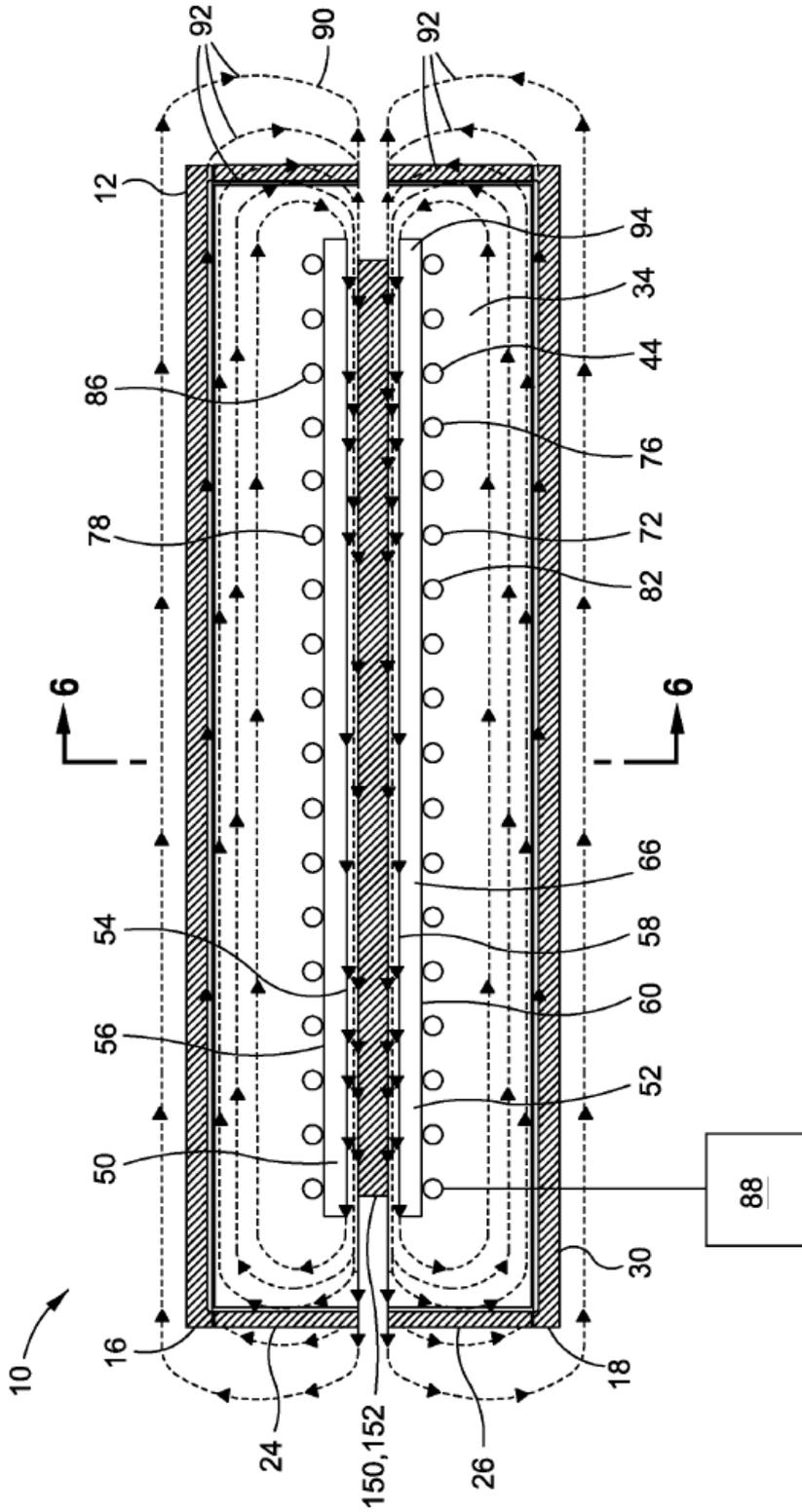


FIG. 5

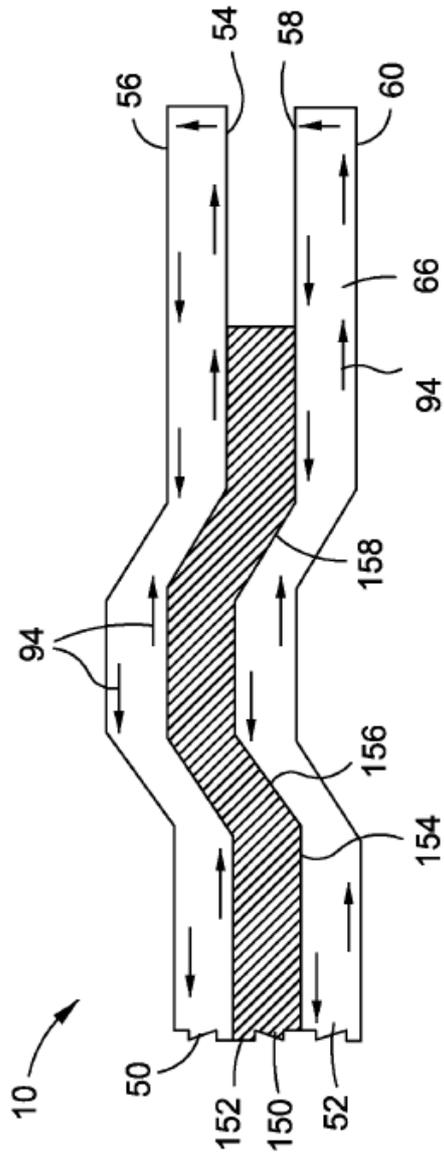


FIG. 6

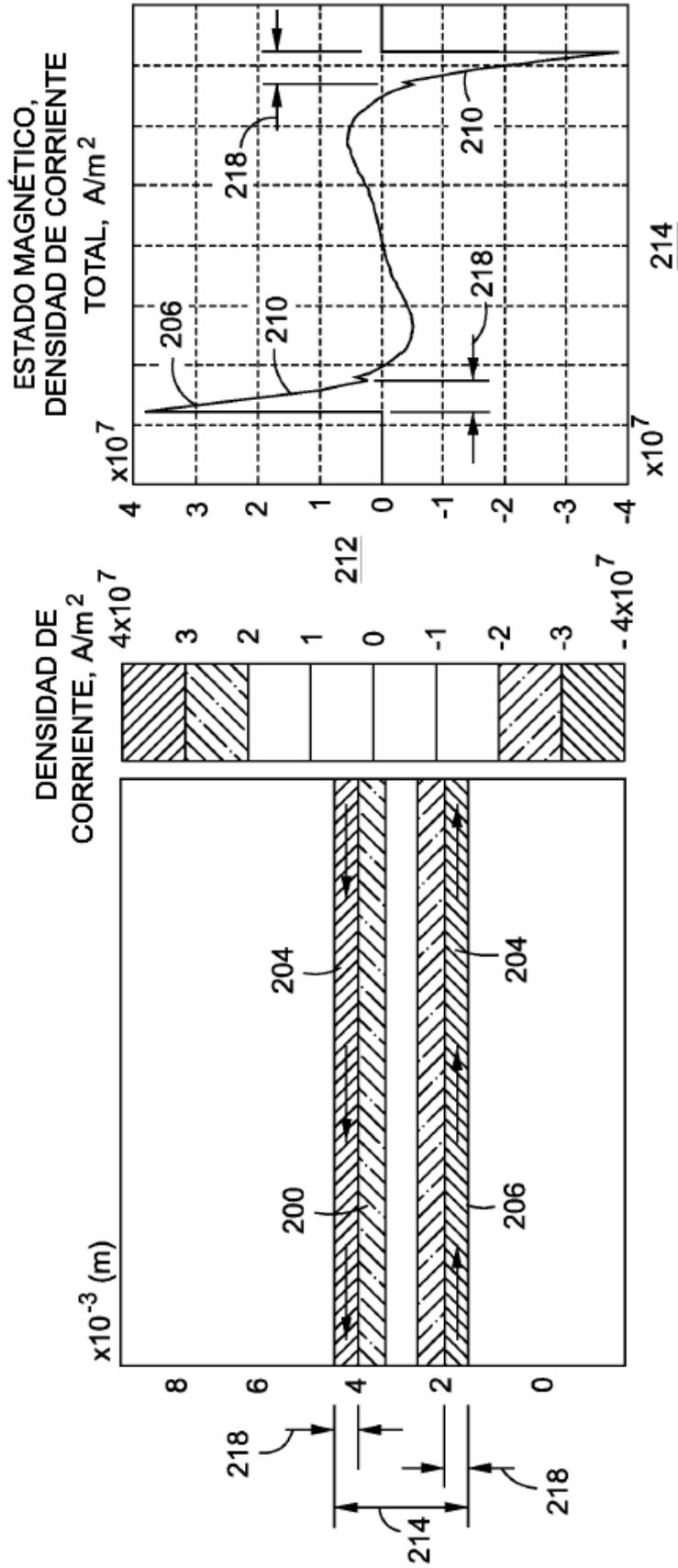


FIG. 9

FIG. 8

FIG. 7

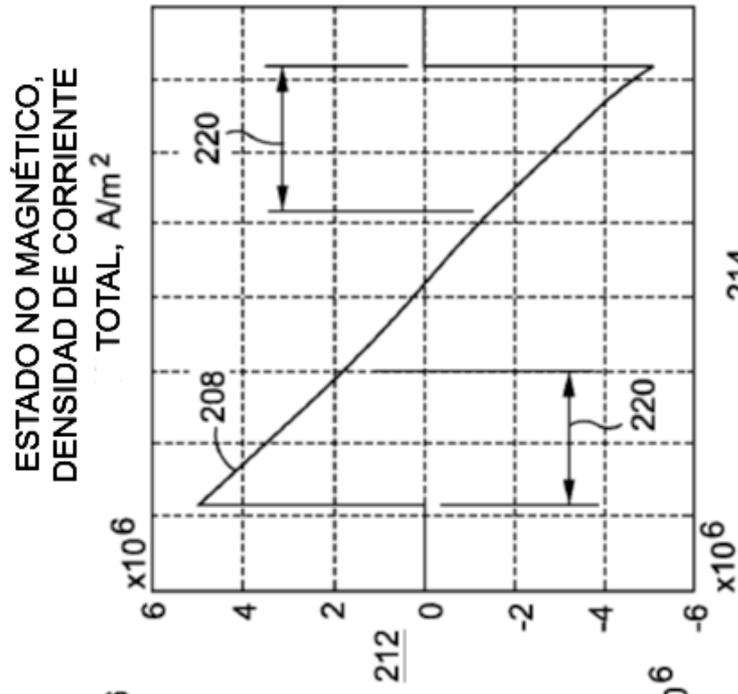


FIG. 12

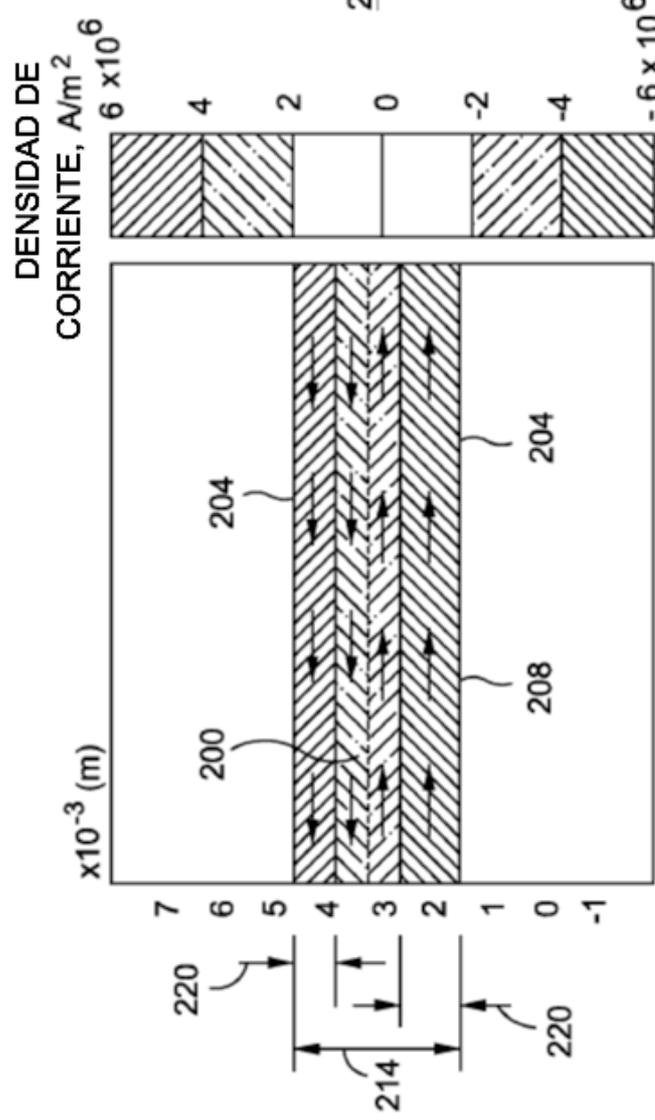


FIG. 11

FIG. 10

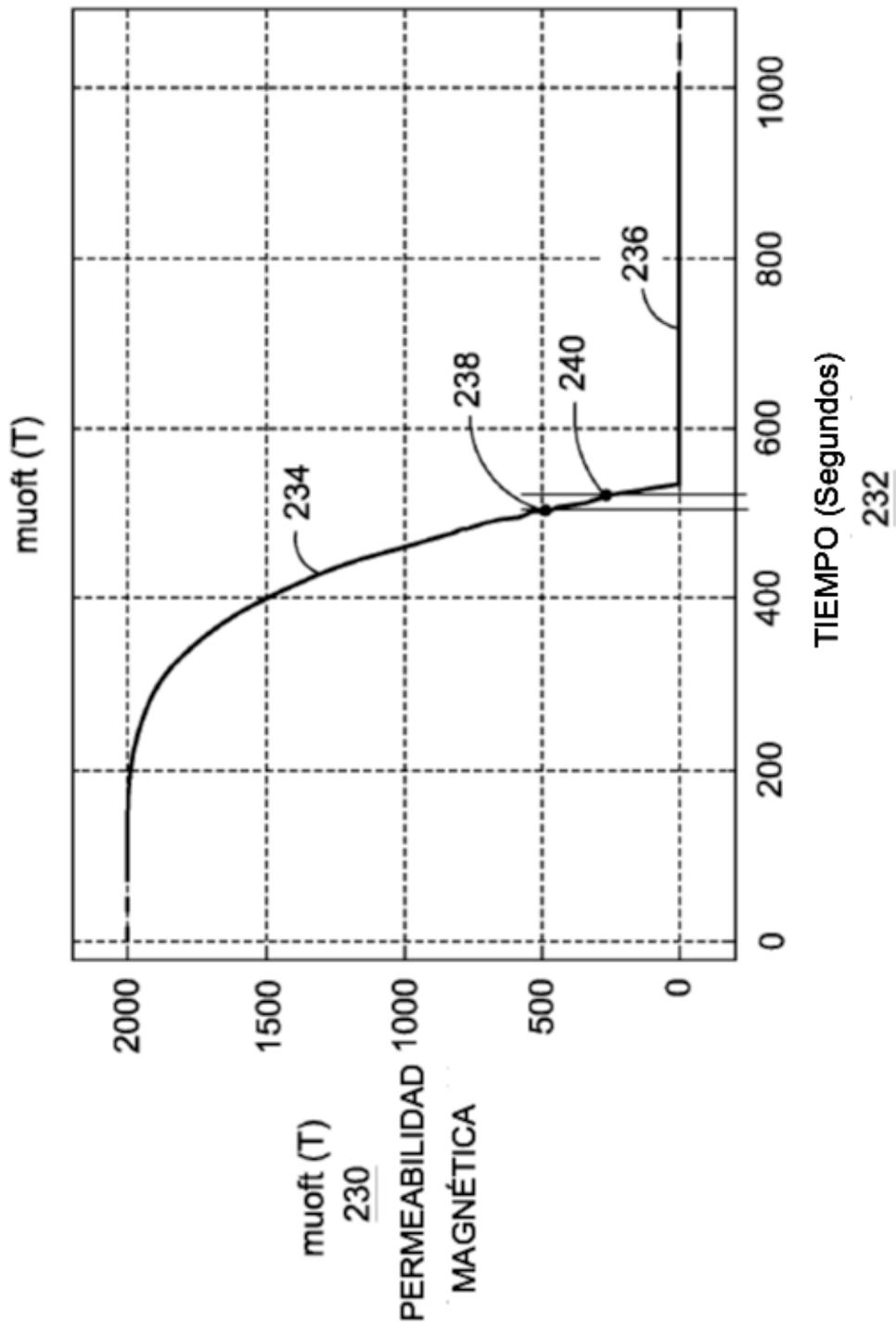


FIG. 13

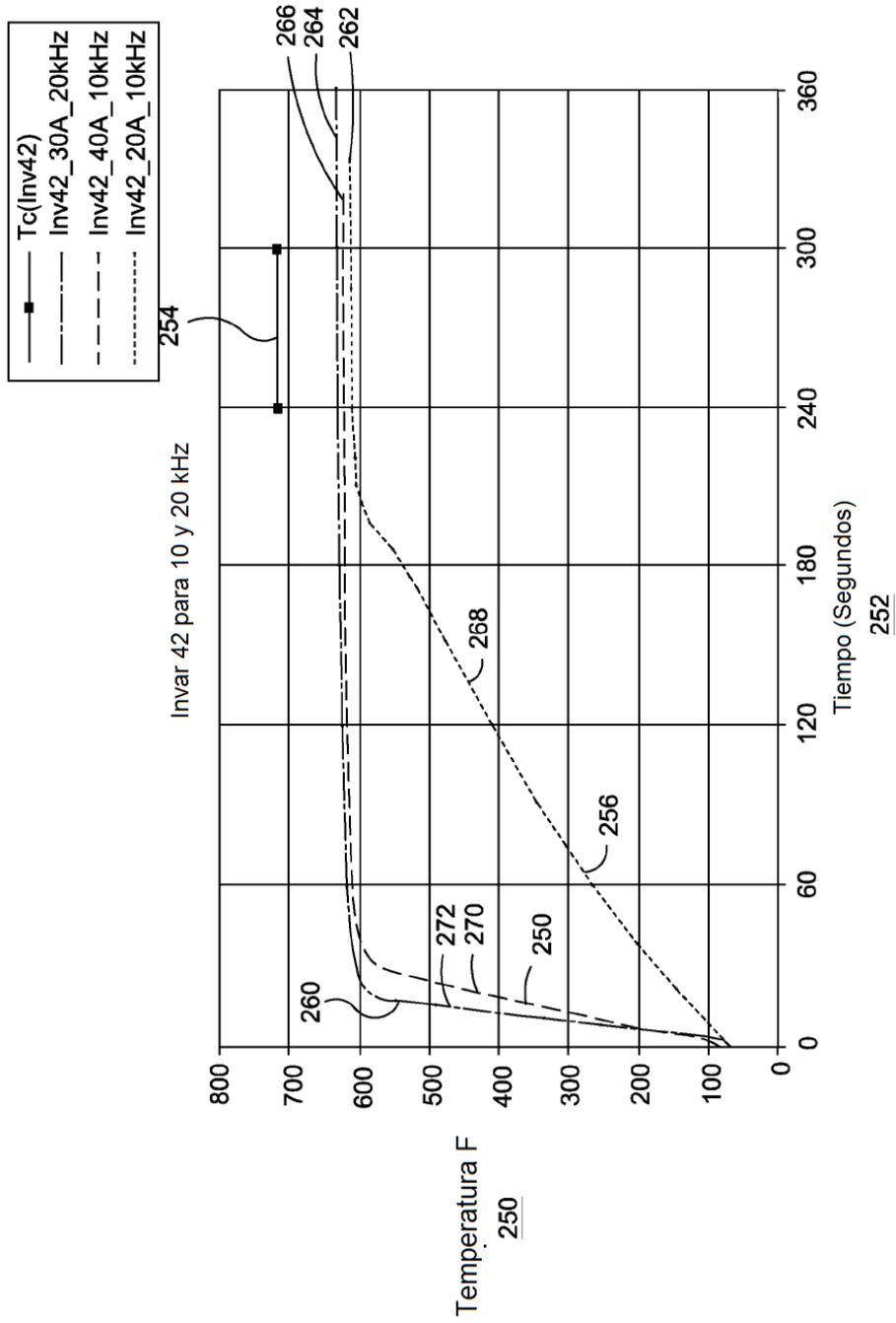


FIG. 14

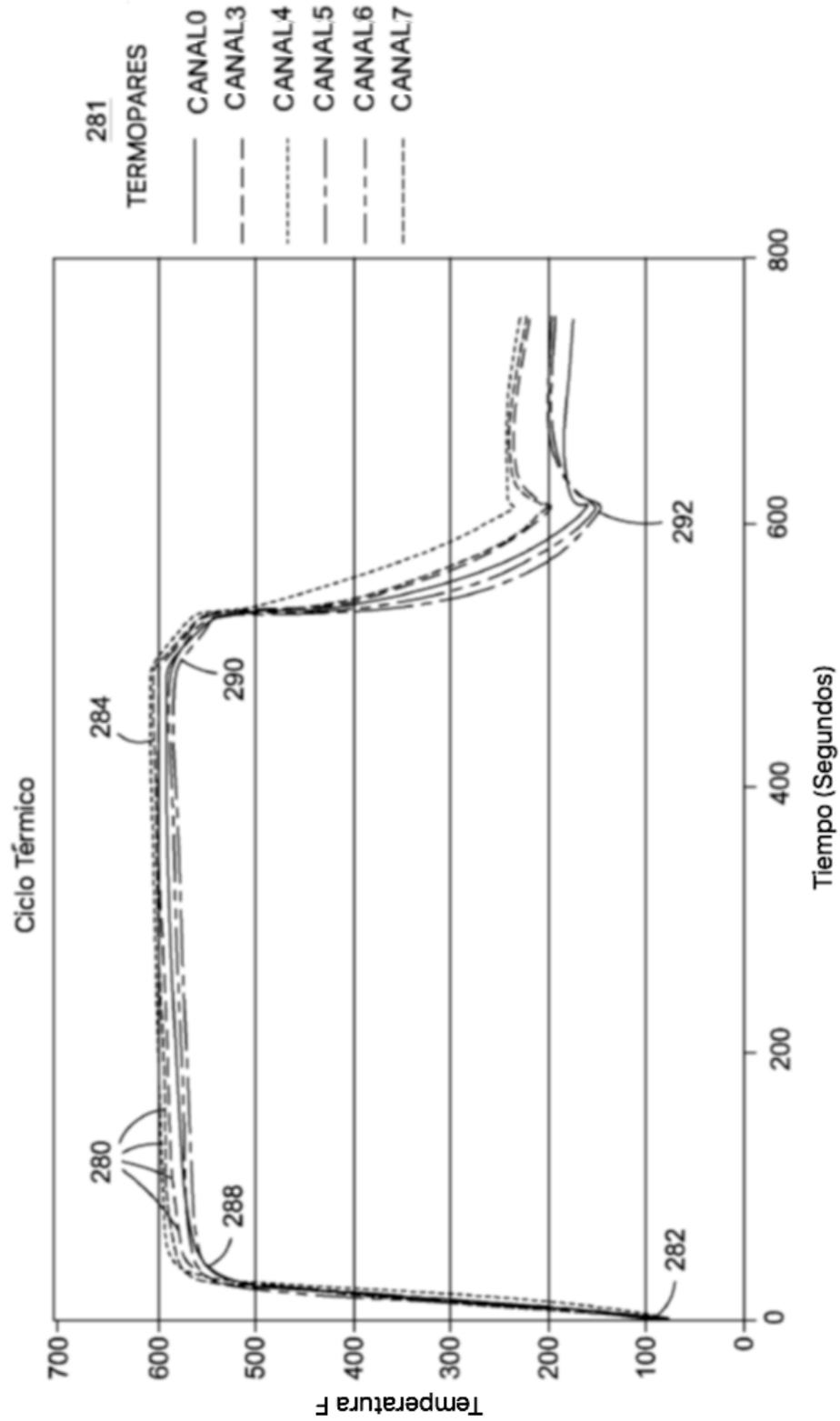


FIG. 15

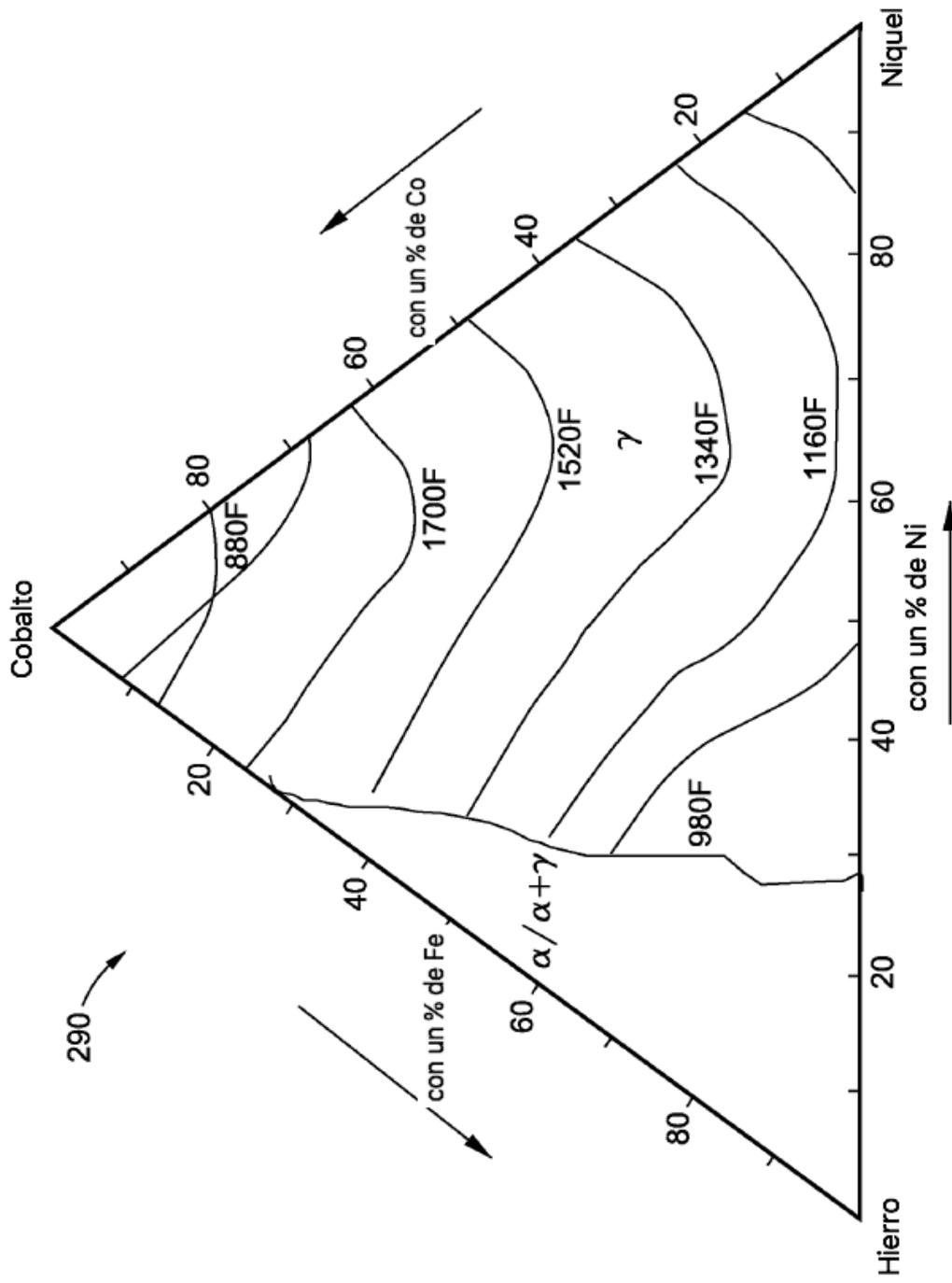


FIG. 16

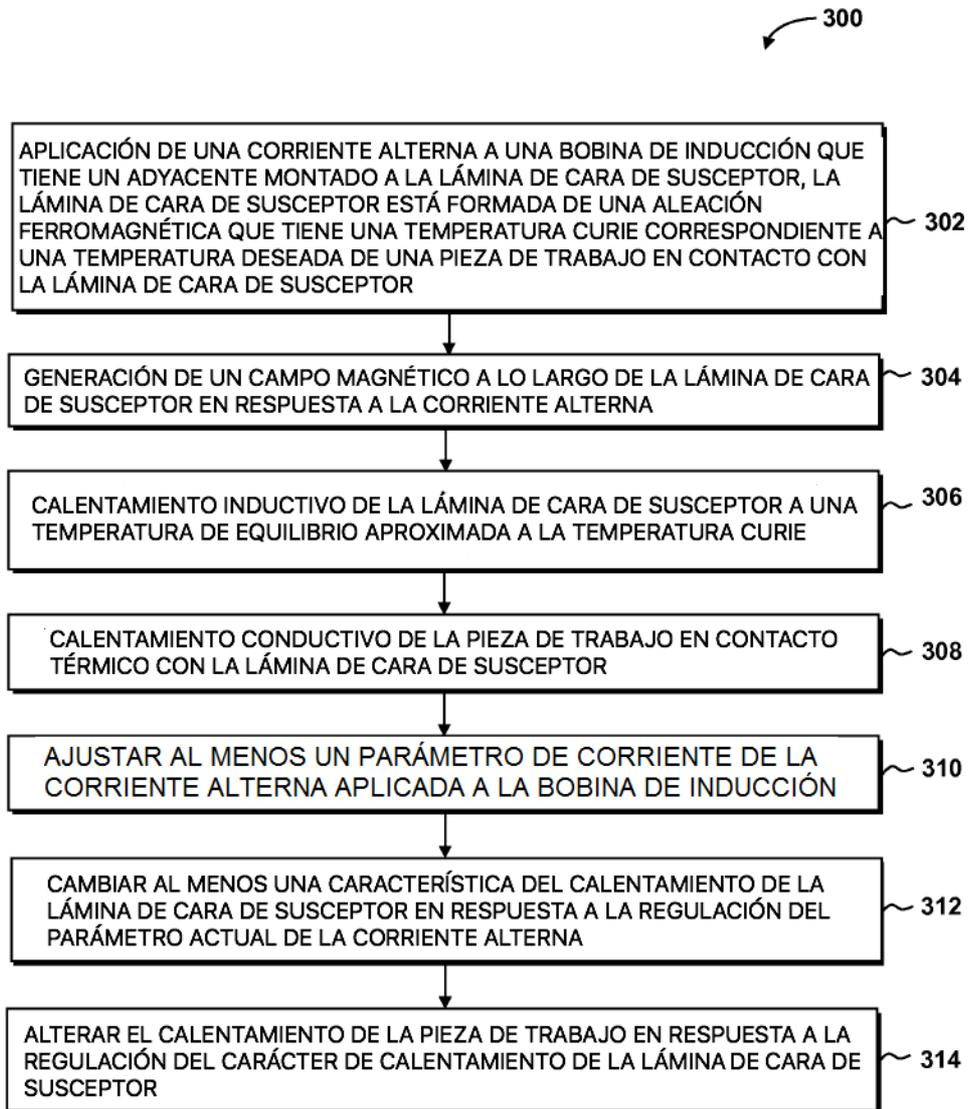


FIG. 17