

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 897 526**

51 Int. Cl.:

H05B 6/36 (2006.01)

H05B 6/44 (2006.01)

H05B 6/40 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.07.2009** **PCT/US2009/051779**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.01.2010** **WO10011987**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.07.2009** **E 09801110 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.10.2021** **EP 2311296**

54 Título: **Calefacción de bordes por inducción eléctrica de placas eléctricamente conductoras**

30 Prioridad:

25.07.2008 US 83547 P

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

01.03.2022

73 Titular/es:

**INDUCTOTHERM CORP. (100.0%)
10 Indel Avenue P.O. Box 157
Rancocas, New Jersey 08073, US**

72 Inventor/es:

PEYSAKHOVICH, VITALY, A.

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 897 526 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

Calefacción de bordes por inducción eléctrica de placas eléctricamente conductoras

Referencia cruzada a solicitudes relacionadas

5 Esta solicitud reivindica el beneficio de la Solicitud Provisional de los EE.UU. Nº. 61/083.547, presentada el 25 de julio de 2008.

Campo de la invención

La presente invención se refiere al calentamiento de bordes por inducción eléctrica de placas formadas a partir de un material no ferroso eléctricamente conductor.

Antecedentes de la invención

10 Un inductor de flujo transversal convencional típico comprende una bobina de inducción que tiene dos secciones. Un material laminar eléctricamente conductor, ya sea continuo o de longitudes discretas, se puede calentar por inducción a lo largo de su sección transversal: colocando el material entre las dos secciones de bobina; suministrando corriente alterna a la bobina; y moviendo el material a través de las dos secciones de bobina. Por ejemplo, en la FIG. 1, la bobina de inducción comprende la sección 101 de bobina y la sección 103 de bobina, ubicadas respectivamente por encima y por debajo del material, que puede ser, por ejemplo, una banda 90 metálica, que se mueve continuamente a través de bobina en la dirección ilustrada por la flecha. Para la orientación, un espacio ortogonal de tres dimensiones está definido por los ejes X, Y y Z mostrados en la FIG. 1. Por consiguiente, la banda se mueve en la dirección X. El espacio, g_c , o abertura, entre las secciones de bobina se exagera en la figura para mayor claridad, pero está fijo en longitud a través de la sección transversal de la banda. Los terminales 101a y 101b de la sección 101 de bobina, y los terminales 103a y 103b de la sección 103 de bobina, están conectados a una o más fuentes de alimentación de corriente alterna adecuadas (no mostradas en las figuras) con polaridades de corriente instantánea como se indica en la figura. El flujo de corriente a través de bobina crea un flujo magnético común, como lo ilustra la línea 105 de flujo típica (ilustrada por la línea discontinua), que pasa perpendicularmente a través de la banda para inducir corrientes de Eddy en el plano de la banda. Los concentradores 117 de flujo magnético (mostrados parcialmente alrededor de la sección 101 de bobina en la figura), por ejemplo, laminaciones u otros materiales de alta permeabilidad y baja reluctancia, pueden utilizarse para dirigir el campo magnético hacia la banda. La selección de la frecuencia de corriente alterna (f , en Hertzios) para un calentamiento inducido eficiente viene dada por la ecuación:

$$f = 2 \times 10^6 \frac{\rho \cdot g_c}{\tau^2 \cdot d_s}$$

30 donde ρ es la resistividad eléctrica de la banda medida en $\Omega \cdot m$; g_c es el espacio (abertura) entre las secciones de bobina medido en metros; τ es el paso polar (paso) de bobina medido en metros; y d_s es el espesor de la banda medido en metros.

La FIG. 2 ilustra un perfil de calentamiento de banda en sección transversal típico obtenido con la disposición de la FIG. 1 cuando el paso polar de bobina es relativamente pequeño y, según la ecuación anterior, la frecuencia es correspondientemente baja. El eje X de la FIG. 2 representa la coordenada en sección transversal normalizada de la banda, siendo el centro de la banda la coordenada 0,0 y siendo los bordes opuestos de la banda las coordenadas +1,0 y -1,0. El eje Y representa la temperatura normalizada conseguida a partir del calentamiento por inducción de la banda con la temperatura normalizada 1,0 que representa la temperatura calentada generalmente uniforme en la región 111 central de la banda. Más cerca de los bordes de la banda, en las regiones 113 (denominadas regiones de escalones), las temperaturas inducidas de la sección transversal de la banda disminuyen desde el valor de temperatura normalizado de 1,0, y, a continuación, aumentan en las regiones 115 de borde de la banda por encima del valor de temperatura normalizado de 1,0.

En algunos procesos industriales de varias etapas, el material se calienta inicialmente y, a continuación, se transfiere a una segunda etapa del proceso. En el tránsito del calentamiento inicial a la segunda etapa del proceso, los bordes del material pueden enfriarse significativamente. Por consiguiente, debe lograrse algún tipo de calentamiento de bordes del material entre el calentamiento inicial del material y la segunda etapa del proceso.

En relación con el calentamiento por inducción eléctrica, una banda puede definirse como un material en lámina que se calienta por inducción en un proceso en el que la profundidad estándar de penetración de la corriente de Eddy inducida en el material es menor que el espesor del material. A la inversa, una placa puede definirse como un material de lámina que se calienta por inducción en un proceso donde la profundidad estándar de penetración de la corriente de Eddy inducida en el material es mayor que el espesor del material. El enfoque técnico para calentar por inducción los bordes de un material de lámina puede ser diferente dependiendo de si el material es una banda o una placa.

En los documentos US 2007/235446, US 5245148, EP1221826 se puede ver un aparato de calentamiento inductivo de placas de la técnica anterior.

Es un objeto de la presente invención proporcionar un aparato y un método para calentar los bordes de un material de placa eléctricamente conductor mediante la utilización de una bobina de inducción de flujo transversal de una manera no convencional en donde el calentamiento inducido se concentra en los bordes de la placa como opuesto a estar distribuido más uniformemente a lo largo de la anchura transversal de la placa.

Breve descripción de la invención

En un aspecto, la presente invención es un aparato y método de calentamiento por inducción eléctrica de los bordes de un material de placa eléctricamente conductor con una bobina de flujo transversal extendiendo las extremidades transversales de bobina más allá de los bordes opuestos de la placa e insertando un compensador de flujo en la región entre las secciones extendidas de bobina adyacentes a cada uno de los bordes opuestos.

En otro aspecto, la presente invención es un aparato de calentamiento inductivo del borde de la placa para calentar por inducción al menos un borde transversal de una placa de un material eléctricamente conductor según las características de la reivindicación 1 y un método para calentar por inducción al menos un borde transversal de una placa eléctricamente conductora según las características de la reivindicación 4.

Estos y otros aspectos de la invención se exponen en esta memoria descriptiva y en las reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

Con el fin de ilustrar la invención, se muestra en los dibujos una forma que se prefiere actualmente; comprendiéndose, sin embargo, que esta invención no se limita a las disposiciones e instrumentos precisos mostrados.

La FIG. 1 ilustra una disposición de inductor de flujo transversal de la técnica anterior.

La FIG. 2 ilustra gráficamente características típicas de calentamiento inducido en sección transversal para la disposición del inductor de flujo transversal mostrado en la FIG. 1.

La FIG. 3 es una vista en planta superior de un ejemplo de un aparato de calentamiento inductivo de borde de placa de la presente invención en donde sólo es visible la sección superior de bobina de inducción de flujo transversal.

La FIG. 4(a) es una vista en alzado a través de la línea A-A en la FIG. 3 del aparato de calentamiento inductivo del borde de la placa mostrado en la FIG. 3.

La FIG. 4(b) es una vista en alzado a través de la línea B-B en la FIG. 3 del aparato de calentamiento inductivo del borde de la placa mostrado en la FIG. 3 con un ejemplo de conexiones a una fuente de alimentación.

La FIG. 4(c) es una vista isométrica de un ejemplo de un compensador de flujo utilizado en el aparato de calentamiento inductivo del borde de la placa mostrado en la FIG. 3.

La FIG. 4(d) es una vista en alzado a través de la línea C-C en la FIG. 3 del aparato de calentamiento inductivo del borde de la placa mostrado en la FIG. 3.

La FIG. 5 ilustra gráficamente características típicas de calentamiento inducido en sección transversal para la disposición del inductor de flujo transversal mostrado en la FIG. 3, en la FIG. 4(a), en la FIG. 4(b), en la FIG. 4(c) y en la FIG. 4(d).

La FIG. 6(a) ilustra la ventaja de uso de un inductor de flujo transversal que tiene extremidades transversales que se extienden más allá de los bordes de una placa sobre una bobina de flujo transversal con extremidades transversales ubicadas cerca de los bordes de un material laminar como se muestra en la FIG. 6(b).

La FIG. 7(a) ilustra el campo de flujo representativo ventajoso logrado en la presente invención sobre el campo de flujo representativo logrado en la técnica anterior como se ilustra en la FIG. 7(b).

Descripción detallada de la invención

Con referencia ahora a los dibujos, en donde números iguales indican elementos iguales, se muestra en la FIG. 3, en la FIG. 4(a), en la FIG. 4(b), en la FIG. 4(c) y en la FIG. 4(d) un ejemplo del aparato de calentamiento inductivo del borde de la placa de la presente invención.

La placa 91 se mueve en la dirección X entre los segmentos 12a₁ y 12b₁ transversales de bobina de las secciones 12a y 12b de bobina de flujo transversal, respectivamente, que están dispuestas por encima y por debajo de las superficies laterales opuestas de la placa y forman el inductor 12 de flujo transversal (bobina de

inducción). Las dos secciones de bobina son preferiblemente paralelas entre sí en la dirección Z. Un compensador 20 eléctricamente conductor, formado a partir de un material altamente conductor tal como una composición de cobre, está dispuesto adyacente a los bordes opuestos de la placa dentro de una región del compensador de borde como se describe más adelante. Las secciones 12a y 12b de bobina están conectadas preferiblemente a una única fuente de alimentación 92 como se muestra, por ejemplo, en la FIG. 4(b), de manera que los flujos de corriente instantánea estén en las direcciones indicadas por las flechas. Mientras que el suministro está conectado a ambas secciones de bobina en una extremidad de cada bobina en la FIG. 4(b), se pueden utilizar otros puntos de conexión de energía adecuados en otros ejemplos de la invención. Por ejemplo, se pueden realizar conexiones de energía a cada sección de bobina en los segmentos de bobina transversales. Se prefiere un suministro único, en lugar de un suministro separado para cada sección de bobina, de manera que la simetría del flujo magnético se logre fácilmente entre las secciones superior e inferior de bobina. Concentradores 94 de flujo magnético (ilustrados en la FIG. 3 para un solo segmento 12a₁ transversal de la sección 12a de bobina) se extienden alrededor de cada segmento de bobina transversal que forma el par de secciones 12a y 12b de bobina. Cada una de las secciones de bobina tiene un par de segmentos de bobina transversales separados por una distancia de paso polar (x_c). Cada segmento de bobina transversal se extiende transversalmente más allá del borde transversal de la placa como se muestra, por ejemplo, en la FIG. 3 para un segmento 12a₁ de bobina transversal. Las extremidades extendidas de los segmentos de bobina transversales adyacentes están unidos por un segmento de bobina longitudinal que puede orientarse sustancialmente paralelo a la longitud de la placa. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 3, los segmentos 12a₁ de bobina transversal están unidos en un par de extremidades adyacentes mediante un segmento 12a₂ de bobina longitudinal. En la realización de la invención mostrada en la FIG. 3, las extremidades extendidas opuestas de los segmentos 12a₁ de bobina transversal están unidos por un segmento de bobina longitudinal formado a partir de la combinación de segmentos 12a' y 12a'' de bobina, que, a su vez, conectan las secciones de bobina de flujo transversal a la fuente de alimentación de corriente alterna. Preferiblemente, los concentradores de flujo magnético se extienden sobre cada segmento de bobina transversal para al menos toda la anchura de una placa que se mueve entre las secciones de bobina para dirigir el flujo magnético producido por el flujo de corriente en las secciones de bobina hacia las superficies de la placa 91.

Es fundamental para el uso de la bobina de flujo transversal como un calentador de borde para una placa formada a partir de una composición no ferromagnética en la presente invención que la frecuencia de salida, f_{placa}, de la fuente de alimentación 92 debería seleccionarse de manera que sea mayor que el valor determinado por la siguiente ecuación:

$$f_{placa} > 0.5 \cdot 10^7 \cdot \left(\frac{\rho_{placa}}{d_{placa}^2} \right) \text{ [ecuación (1)]}$$

donde ρ_{placa} es la resistividad eléctrica del material de la placa medida en $\Omega \cdot m$, y d_{placa} es el espesor de la placa medido en metros.

Se puede acomodar una gama de anchuras de placa transversal mediante una disposición de la presente invención siempre que se proporcionen medios 96 (FIG. 3) para mover los compensadores en la dirección Y (transversal) para acomodarse a los cambios en las anchuras de la placa. Por ejemplo, el aparato para mover los compensadores puede ser railes lineales o vástagos conectados estructuralmente a los compensadores y unidos a la salida de uno o más accionadores lineales (o alternativamente accionados manualmente).

En un ejemplo particular de la invención, las placas que tienen unas anchuras transversales (w_{placa}) entre 1.000 mm y 2.150 mm, y espesores entre 30 mm y 60 mm, se pueden acomodar con el siguiente aparato de calentamiento inductivo de borde de placa de la presente invención. El paso de cada sección de bobina de flujo transversal (x_c) para el par de segmentos de bobina transversal es de aproximadamente 900 mm, y la anchura de cada sección de bobina (y_c) es de aproximadamente 2.400 mm, teniendo la bobina, que forma cada sección de bobina transversal, una anchura de aproximadamente 240 mm (w_{bobina}), cuando las secciones de bobina se forman como conductores rectangulares, como se ilustra en la FIG. 4(d), con paso hueco interior opcional para el flujo de un medio refrigerante tal como agua. A medida que aumenta la relación entre el paso de la bobina y la anchura de la placa, también aumentará la relación entre la potencia inducida en los bordes de la placa y la potencia inducida en la sección transversal restante de la placa. Cada compensador 20 está formado por un material eléctricamente conductor, tal como una composición de cobre, con una longitud x_{comp} de aproximadamente 1.300 mm; una anchura y_{comp} de aproximadamente 900 mm; y una altura z_{comp} solamente un poco menos que el espacio z_{espacio} según sea necesario para impedir cortocircuitos entre el compensador y una sección de bobina adyacente. La distancia (espacio) z_{espacio} entre la sección 12a de bobina superior y la sección 12b de bobina inferior es de aproximadamente 250 mm. Cuando se cambia la anchura de la placa, los compensadores deberían moverse en la dirección Y para permitir una separación mínima y_{espacio} entre el borde de la placa y el borde de la compensación adyacente. Por ejemplo, una distancia de 40 mm para y_{espacio} puede ser satisfactoria para permitir el tejido de la placa en la dirección Y entre los compensadores. La distancia d₁ en la FIG. 3 cambiará de aproximadamente cero a 575 mm a medida que la anchura de la placa cambie del máximo

de 2.150 mm a 1.000 mm, y los compensadores se muevan en la dirección Y para acomodarse a las distintas anchuras. Las dimensiones del compensador de flujo utilizadas en este ejemplo de la invención se seleccionan de manera que cada compensador de flujo esté situado en la región del compensador de borde establecida entre las extremidades transversales extendidas de los segmentos de bobina transversales y el segmento longitudinal contiguo de las secciones 12a y 12b de bobina opuestas, y adyacentes a cada borde de la placa.

Se ha descubierto que las dimensiones relativas anteriores de placa, bobinas y compensadores son las más favorables para lograr el calentamiento del borde de la placa con la disposición de bobina de flujo transversal de la presente invención con una gama de placas como se ha descrito anteriormente. La disposición anterior se extiende a otras configuraciones en otros ejemplos de la invención. La FIG. 5 ilustra dos ejemplos del calentamiento de bordes alcanzables con la presente invención en donde los bordes extremos de una placa con una anchura de 2.150 mm o 1.000 mm pueden lograr una temperatura de calentamiento inducido de 50°C de los bordes de la placa mientras que un aumento de temperatura nominal de 5°C se producirá en la región de la sección transversal central de la placa. Como se ilustra en la FIG. 5, para la placa con una anchura de 1.000 mm, el borde transversal de la placa se puede calentar por inducción a diez veces (50°C) la temperatura (5°C) de aproximadamente el 65 por ciento de la anchura transversal interior (w_{s1}) de la placa con el aparato de calentamiento inductivo del borde de la placa de la presente invención. Para la placa con una anchura de 2.150 mm, el borde transversal de la placa se puede calentar por inducción a diez veces (50°C) la temperatura (5°C) de aproximadamente el 80 por ciento de la anchura transversal interior (w_{s2}) de la placa con el aparato de calentamiento inductivo del borde de la placa de la presente invención.

La extensión de las extremidades transversales de la bobina de inducción de flujo transversal utilizada en la presente invención maximiza la concentración de corrientes inducidas en las regiones de borde de la banda. En la FIG. 6(b), con las extremidades transversales de la bobina colocadas cerca del borde de una placa, no se maximiza el flujo instantáneo de corrientes de Eddy inducidas (representado por la línea 93b con flechas), y por lo tanto, el calentamiento inducido, en los bordes extremos de la placa; sin embargo, como en la presente invención, con extremidades de bobina transversales extendidas y concentradores de flujo magnético, como se ilustra en la FIG. 6(a), se maximiza el flujo de corrientes de Eddy inducidas (representado por la línea 93a con flechas) en los bordes extremos de la placa.

La elección de la frecuencia de funcionamiento, f_{placa} , basad en la conductividad eléctrica del material de la placa y el espesor de la placa da como resultado una distribución 99 de flujo magnético (líneas discontinuas) como se ilustra en la FIG. 7(a), que es favorable al calentamiento de los bordes, en contraposición a la distribución 98 de flujo magnético (líneas discontinuas) mostrada en la FIG. 7(b) para la técnica anterior descrita anteriormente. Generalmente, para un calentamiento eficiente de los bordes en la presente invención, la relación entre el espesor de la placa y la profundidad estándar de penetración de corriente de Eddy es preferiblemente mayor que aproximadamente 3. Esto contrasta con el calentamiento de la banda de la técnica anterior descrito sobre dónde la profundidad estándar de la penetración de corriente de Eddy es menor que el espesor de la banda.

La utilización de los compensadores de flujo entre las extremidades extendidas de la bobina de flujo transversal (en lugar de aire) reduce significativamente la impedancia de la bobina y permite que se proporcione energía suficiente desde la fuente de alimentación para el calentamiento de borde inductivo de la placa.

Cada placa que se mueve a través de las secciones de bobina de flujo transversal de la bobina de flujo transversal puede tener cualquier longitud.

Mientras que en los ejemplos anteriores de la invención se utiliza un inductor de flujo transversal que tiene secciones de bobina de una sola vuelta, en otros ejemplos de la invención se utilizan secciones de bobina de múltiples vueltas. Mientras las realizaciones del aparato y método de calentamiento inductivo del borde de la placa en los ejemplos anteriores de la invención se utilizan para calentar ambos bordes transversales de la placa, en otros ejemplos sólo uno de los bordes transversales de la placa puede calentarse por inducción.

REIVINDICACIONES

1.- Un aparato de calentamiento inductivo del borde de la placa que comprende:

un par de secciones (12a, 12b) de bobina de flujo transversal, cada una del par de secciones de bobina de flujo transversal tiene un par de segmentos (12a₁, 12b₁) de bobina transversal, el par de segmentos de bobinas transversales de uno del par de secciones (12a, 12b) de bobina de flujo transversal separados del par de segmentos de bobina transversal del otro del par de secciones de bobina de flujo transversal por un espacio de bobina para formar una región de calentamiento por inducción de la placa a través de la cual una placa (91) puede pasar con la longitud de la placa orientada perpendicularmente al par de segmentos de bobina transversales de cada una del par de secciones de bobina de flujo transversal, los segmentos de bobina transversal para cada una del par de secciones (12a, 12b) de bobina de flujo transversal separadas de manera coplanaria entre sí por una distancia de paso de bobina, teniendo los segmentos de bobina transversal de cada una del par de secciones de bobina de flujo transversal extremidades transversales extendidas que se extienden transversalmente más allá de al menos un borde de la placa (91) cuando la placa se coloca en la región de calentamiento por inducción de la placa, las extremidades transversales extendidas de los segmentos de bobina transversal de cada una del par de secciones (12a, 12b) de bobina de flujo transversal conectadas juntas por un segmento (12a₂) de bobina longitudinal separado orientado paralelamente a la longitud de la placa cuando la placa se coloca en la región de calentamiento por inducción de la placa, formando las extremidades transversales extendidas opuestas y el segmento de bobina longitudinal de cada una del par de secciones de bobina de flujo transversal una región de compensador de borde entre las extremidades transversales extendidas y el segmento de bobina longitudinal de cada uno del par de secciones de bobina de flujo transversal, las extremidades transversales extendidas opuestas y el segmento de bobina longitudinal de cada una del par de secciones de bobina de flujo transversal separadas entre sí por el espacio de bobina;

al menos un concentrador (94) de flujo magnético que rodea al menos los segmentos de bobinas transversales del par de secciones (12a, 12b) de bobina de flujo transversal en todas las direcciones alejadas de la región de calentamiento por inducción de la placa;

al menos una fuente de energía (92) de corriente alterna conectada al par de secciones (12a, 12b) de bobina de flujo transversal de manera que una corriente instantánea fluya en la misma dirección a través de cada una del par de secciones de bobina de flujo transversal,

caracterizado por

cada una de la al menos una fuente de energía (92) alterna que tiene una frecuencia de salida, f_{placa} , determinada según la siguiente ecuación:

$$f_{\text{placa}} > 0.5 \cdot 10^7 \cdot \left(\frac{\rho_{\text{placa}}}{d_{\text{placa}}^2} \right)$$

donde ρ_{placa} es la resistividad eléctrica de la placa y d_{placa} es el espesor de la placa; y

un compensador (20) eléctricamente conductor dispuesto dentro de la región del compensador de borde, teniendo el compensador eléctricamente conductor una altura de compensador menor que la altura del espacio de la bobina según sea necesario para impedir cortocircuitos entre el compensador eléctricamente conductor y las extremidades transversales extendidas y el segmento de bobina longitudinal de cada uno del par de secciones de bobina de flujo transversal adyacentes al compensador eléctricamente conductor para calentar por inducción el al menos un borde transversal de la placa a una temperatura del borde de la placa mayor que una temperatura transversal interior de la placa cuando la placa está colocada en la región de calentamiento por inducción de la placa.

2.- Un aparato de calentamiento inductivo del borde de la placa según la reivindicación 1, en donde el compensador (20) eléctricamente conductor es generalmente rectangular, la longitud (x_{comp}) del compensador eléctricamente conductor mayor que la distancia de paso polar (x_c), la altura (z_{comp}) del compensador eléctricamente conductor igual a la distancia entre las extremidades transversales extendidas y el segmento de bobina longitudinal del par de secciones (12a, 12b) de bobina de flujo transversal mientras se mantiene el aislamiento eléctrico entre el par de secciones de bobina de flujo transversal, la altura (z_{comp}) del compensador eléctricamente conductor mayor que el espesor de la placa.

3.- Un aparato de calentamiento inductivo de borde de placa según la reivindicación 1 o 2, que incluye un aparato (96) para mover el compensador (20) eléctricamente conductor en respuesta a un cambio en la una anchura transversal (w_{placa}) de la placa en la región de calentamiento por inducción de la placa cuando la placa se coloca dentro de la región de calentamiento por inducción de la placa.

4.- Un método para calentar por inducción al menos un borde transversal de una placa (91) eléctricamente conductora, comprendiendo el método las etapas de:

pasar la placa (91) eléctricamente conductora entre un par de secciones (12a, 12b) de bobina de flujo transversal, teniendo cada una del par de secciones de bobina de flujo transversal un par de segmentos de bobina transversal, el par de segmentos de bobinas transversales de uno del par de secciones (12a, 12b) de bobina de flujo transversal separadas del par de segmentos de bobina transversal del otro del par de secciones de bobina de flujo transversal por un espacio de bobina para formar una región de calentamiento por inducción de la placa a través de la cual la placa (91) eléctricamente conductora pasa con la longitud de la placa eléctricamente conductora orientada perpendicularmente al par de segmentos de bobina transversal de cada uno del par de secciones de bobina de flujo transversal, los segmentos de bobina transversal para cada una de las secciones (12a, 12b) de bobina de flujo transversal separadas de manera coplanaria entre sí por una distancia de paso de bobina, teniendo los segmentos de bobina transversal de cada una del par de secciones (12a, 12b) de bobina de flujo transversal extremidades transversales extendidas que se extienden transversalmente más allá del al menos un borde transversal de la placa en la región de calentamiento por inducción de la placa, las extremidades transversales extendidas de los segmentos de bobina transversal de cada uno del par de secciones (12a, 12b) de bobina de flujo transversal conectadas entre sí por un segmento (12a2) de bobina orientado paralelo a la longitud de la placa en la región de calentamiento por inducción de la placa, formando las extremidades transversales extendidas y el segmento de bobina longitudinal de cada una del par de secciones de bobina de flujo transversal una región de compensador de borde entre las extremidades transversales extendidas y el segmento de bobina longitudinal de cada una del par de secciones (12a, 12b) de bobina de flujo transversal, las extremidades transversales extendidas y el segmento de bobina longitudinal de cada una del par de secciones de bobina transversales separadas entre sí por el espacio de bobina, al menos los segmentos de bobina transversal del par de secciones de bobina de flujo transversal rodeadas por al menos un concentrador (94) de flujo magnético en todas las direcciones alejadas de la región de calentamiento por inducción de la placa;

suministrar corriente alterna al par de secciones (12a, 12b) de bobina de flujo transversal de manera que una corriente instantánea fluya en la misma dirección a través de cada una del par de secciones de bobina de flujo transversal;

caracterizado por

establecer la frecuencia de la corriente alterna a una frecuencia de calentamiento del borde de la placa, f_{placa} , determinada según la siguiente ecuación:

$$f_{placa} > 0.5 \cdot 10^7 \cdot \left(\frac{\rho_{placa}}{d_{placa}^2} \right)$$

donde ρ_{placa} es la resistividad eléctrica de la placa y d_{placa} es el espesor de la placa; e

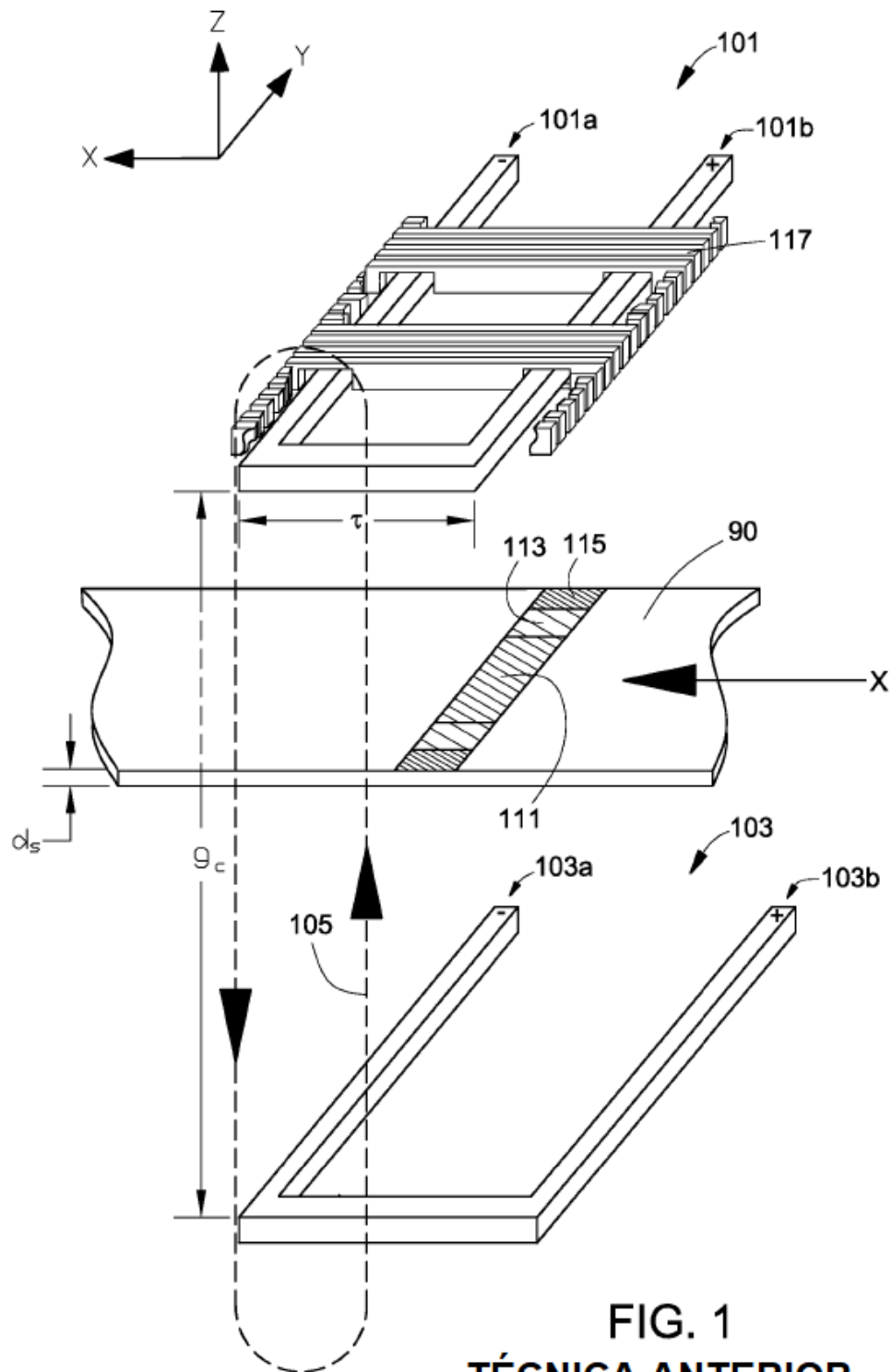
insertar un compensador (20) eléctricamente conductor dentro de la región del compensador de calentamiento de borde, teniendo el compensador eléctricamente conductor una altura del compensador menor que la altura del espacio de la bobina, según sea necesario para impedir cortocircuitos entre el compensador eléctricamente conductor y las extremidades transversales extendidas y el segmento de bobina longitudinal de cada una del par de bobinas de flujo transversal adyacentes a las secciones del compensador eléctricamente conductor para la reducción en la impedancia del par de secciones de bobina de flujo transversal para calentar por inducción al menos un borde transversal de la placa eléctricamente conductora a una temperatura del borde transversal de la placa mayor que una temperatura transversal interior de la placa cuando la placa eléctricamente conductora pasa entre el par de secciones de bobina de flujo transversal.

5.- Un método según la reivindicación 4, que incluye la etapa de calentamiento por inducción del al menos un borde transversal de la placa (91) eléctricamente conductora que tiene una anchura de 1.000 mm a la temperatura del borde transversal de la placa al menos diez veces más alta que la temperatura transversal interior de la placa en el 65 por ciento de la anchura transversal interior de la placa (91).

6. Un método según la reivindicación 4, que incluye la etapa de calentamiento por inducción del al menos un borde transversal de la placa (91) eléctricamente conductora que tiene una anchura de 2.150 mm a la temperatura del borde transversal de la placa al menos diez veces más alta que la temperatura transversal interior de la placa en el 80 por ciento de la anchura transversal interior de la placa (91).

7.- Un método según la reivindicación 4, en donde la relación del espesor (d_{placa}) de la placa a una profundidad estándar de penetración de corrientes de Eddy inducidas en la placa es mayor que 3.

8.- Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 7, que incluye la etapa de movimiento del compensador (20) eléctricamente conductor en respuesta a un cambio en la anchura transversal de la placa (91) en la región de calentamiento por inducción de la placa.



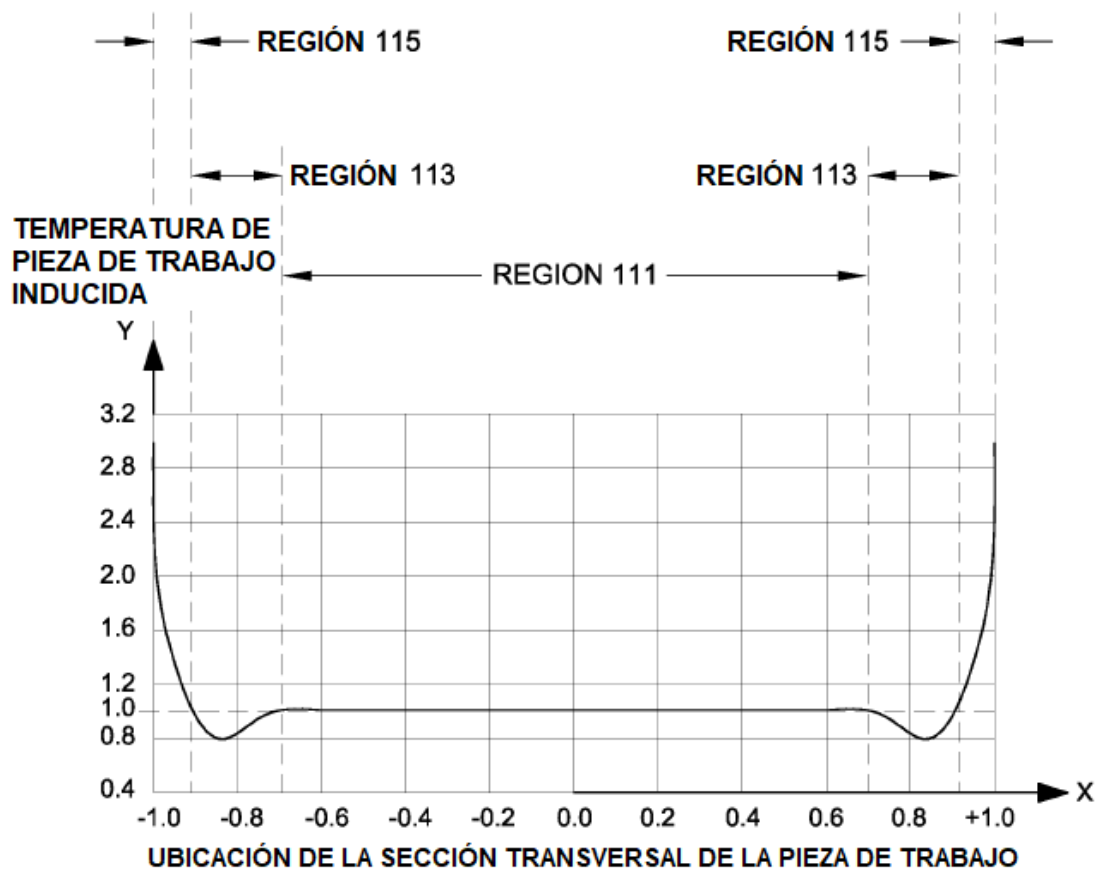


FIG. 2

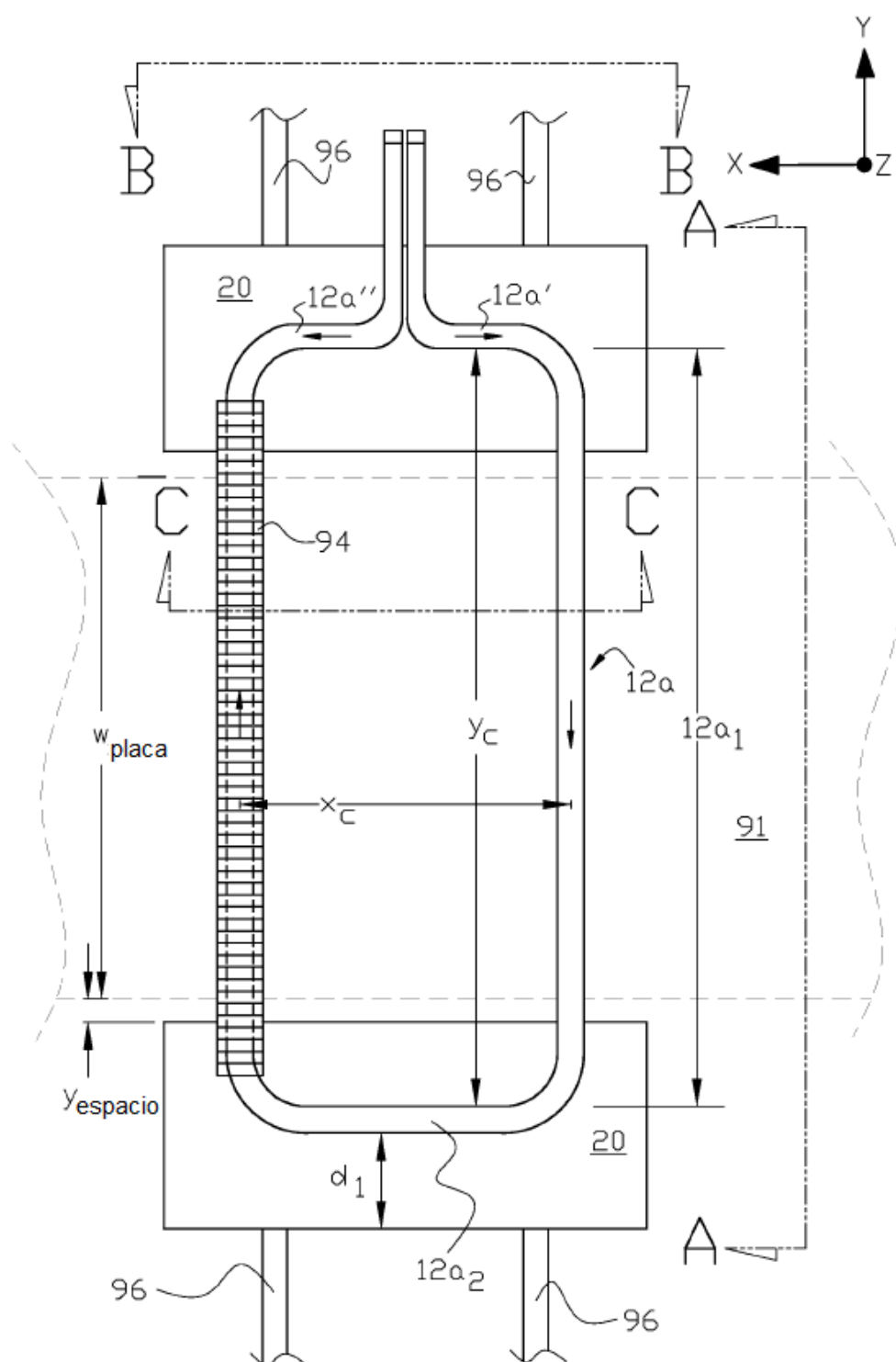
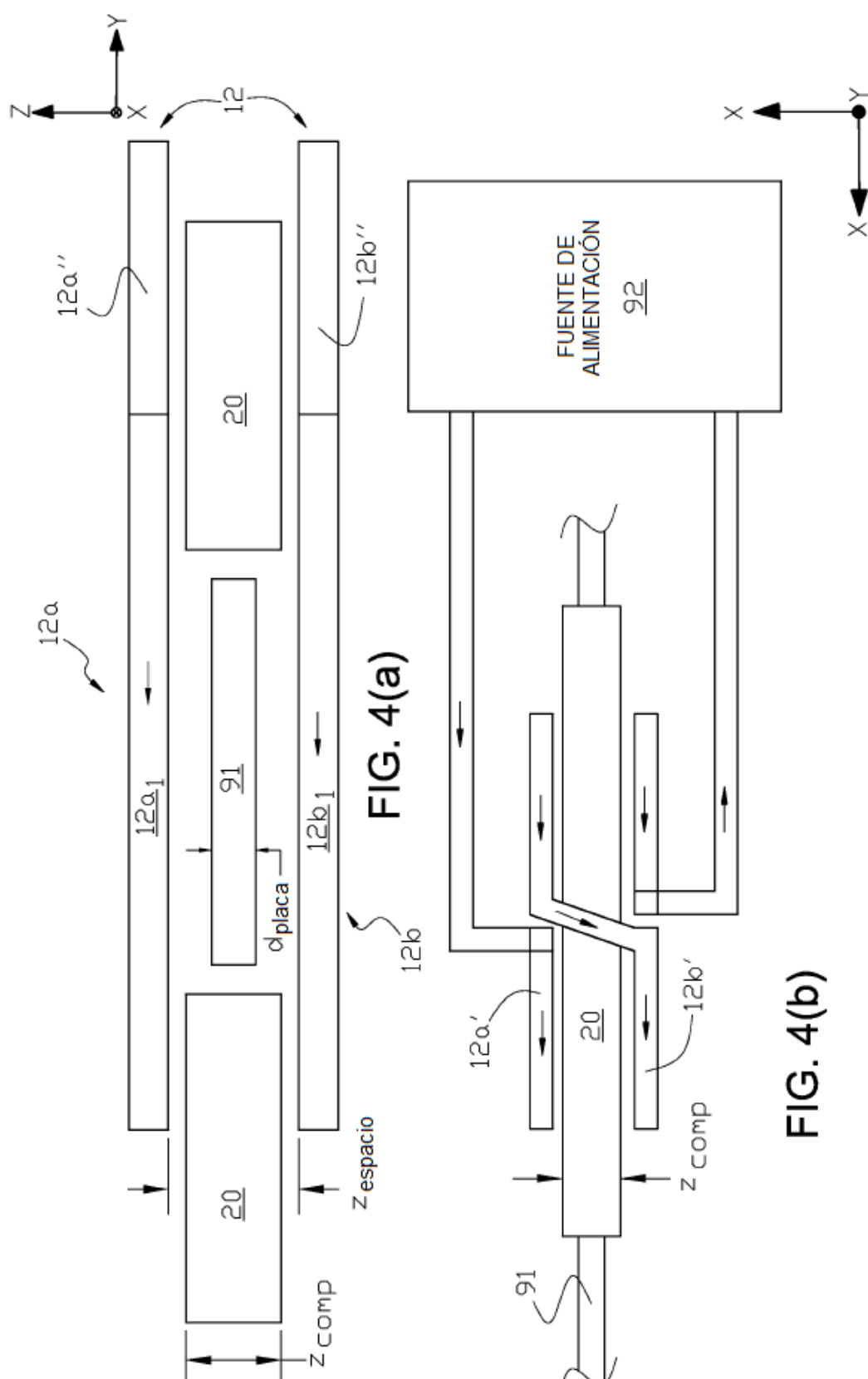


FIG. 3



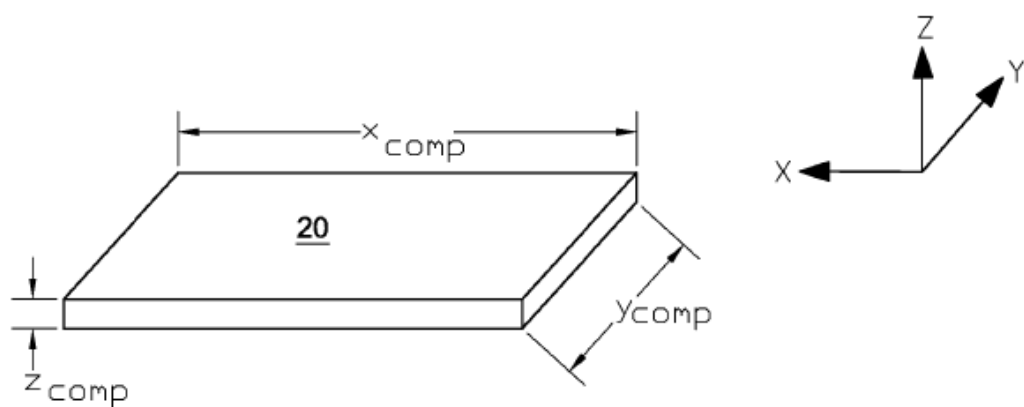


FIG. 4(c)

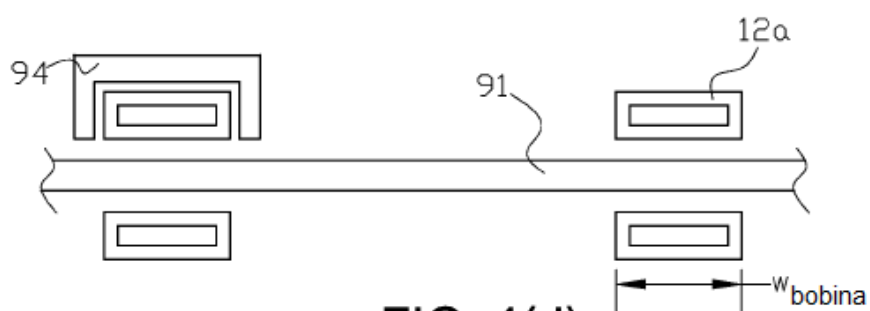
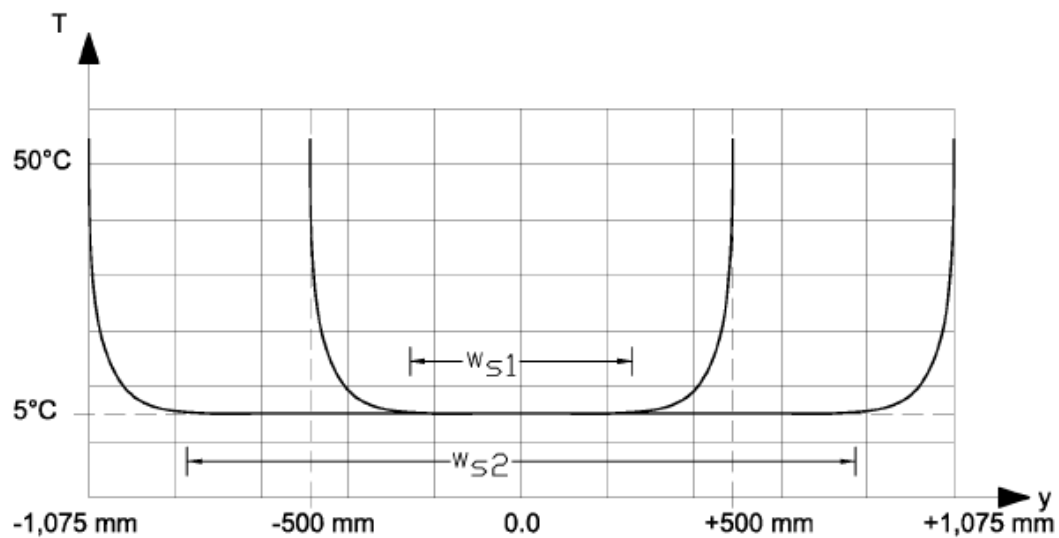


FIG. 4(d)

TEMPERATURA DE
PIEZA DE TRABAJO
INDUCIDA



UBICACIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA PIEZA DE TRABAJO

FIG. 5

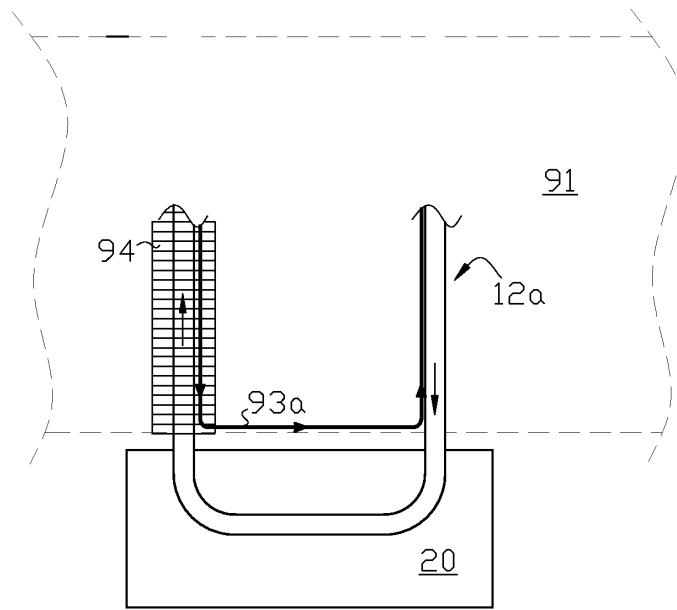


FIG. 6(a)

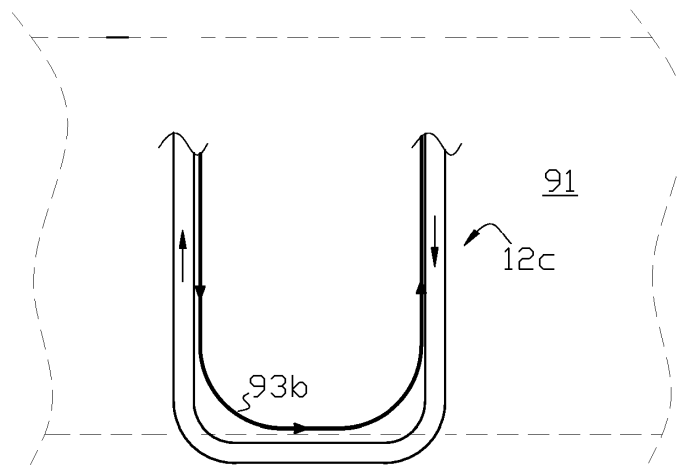


FIG. 6(b)

