

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 718 470**

51 Int. Cl.:

C21D 9/32 (2006.01)

H05B 6/36 (2006.01)

H05B 6/40 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.07.2008 PCT/US2008/070569**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.01.2009 WO09015052**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.07.2008 E 08782106 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.03.2019 EP 2183397**

54 Título: **Tratamiento térmico de inducción eléctrica**

30 Prioridad:

21.07.2007 US 951200 P

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

02.07.2019

73 Titular/es:

**INDUCTOHEAT, INC. (100.0%)
32251 North Avis Drive
Madison Heights, MI 48071, US**

72 Inventor/es:

**LOVELESS, DON L.;
RUDNEV, VALERY I.;
O'HAIRE, JOSEPH M.;
MINNICK, RANDALL J. y
MARSHALL, BRIAN L.**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 718 470 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

Tratamiento térmico de inducción eléctrica

Referencia cruzada a solicitudes relacionadas

Esta solicitud reivindica el beneficio de la Solicitud Provisional de EE.UU. No. 60/951.200, archivada el 21 de julio del 2007.

Campo de la invención

La presente invención se relaciona generalmente con el tratamiento térmico de inducción eléctrica de engranajes y artículos conductores eléctricamente similares a engranajes, y en particular a tales tratamientos térmicos para el caso de endurecimiento de superficies de tales engranajes y artículos similares a engranajes.

Antecedentes de la invención

El calentamiento por inducción eléctrica puede ser usado para tratar térmicamente piezas de trabajo conductoras eléctricamente que incluye engranajes y artículos similares a engranajes. Los engranajes se pueden caracterizar como engranajes de ejes paralelos, ejes de intersección y ejes de no intersección (no paralelos). Los ejes referidos son los ejes centrales del engranaje y piñón o engranaje de interfaz. Por ejemplo dado que dos engranajes rectos que interactúan tienen ejes paralelos, un engranaje recto es un tipo de engranaje de eje paralelo. Los engranajes de ejes paralelos también se caracterizan mediante dientes enfrentados radialmente, hacia fuera como se ilustra mediante el engranaje 102 recto en la FIG. 1(a) y FIG. 1(b). La región dentada de un engranaje de eje paralelo puede ser tratada térmicamente por inducción mediante la ubicación del engranaje dentro de una bobina 100 de inducción que rodea. Cuando sea adecuado potencia de corriente alterna (ac) es aplicada a la bobina de inducción, el engranaje es calentado de manera inductiva mediante acoplamiento magnético con el campo de flujo establecido por el flujo de corriente de ac a través del inductor como se ilustra mediante las líneas equipotenciales normales de la corriente 104 y 110 de Foucault en la FIG. 1(a) y FIG. 1(b), respectivamente. La frecuencia eléctrica de la corriente suministrada hace un efecto perceptible en el flujo de la corriente de Foucault dentro del engranaje y distribución de calor inducido. Básicamente cuando es necesario endurecer las puntas de los dientes solo con una única frecuencia de corriente mediante el uso de una bobina solenoide de una única vuelta o de múltiples vueltas, una frecuencia relativamente alta (por ejemplo 30 kHz a 450 kHz) y densidad de potencia alta son aplicadas. Véase por ejemplo la FIG. 1(a). Cuando la corriente (potencia) de frecuencia relativamente alta es aplicada a la bobina 100, el calor inducido de la corriente de Foucault en el engranaje 102 sigue el contorno del engranaje como se indica mediante las líneas 104 de perfil térmico representativas. Dado que la concentración más alta de la densidad de corriente está en una punta 106 del diente, habrá un exceso de potencia en la punta 106 comparado a la raíz 108. Teniendo también en cuenta que la punta 106 del diente tiene la mínima cantidad de metal a ser calentado comparado con la raíz 108, la punta experimentará la elevación de temperatura más intensa sobre el ciclo térmico completo. Además, desde la perspectiva térmica, la cantidad de metal debajo de la raíz del engranaje representa una bajada de calor mucho más grande comparada con la punta del diente. Otro factor que también complementa el calentamiento más intenso de la punta del diente trata con un mejor acoplamiento electromagnético debido al efecto de proximidad electromagnética entre la bobina inductora y la punta del diente en comparación con la raíz; frecuencias más altas tienen una tendencia a hacer el efecto de proximidad más pronunciado. Cuando se endurece de manera inductiva la raíz 108 del diente, una frecuencia relativamente baja (por ejemplo, 50 Hz a 20 kHz) es preferible. Con una frecuencia baja, la profundidad de penetración de la corriente de Foucault es mucho mayor que con frecuencias altas. Cuando se calientan engranajes de pendiente fina y pendiente media es mucho más fácil para las corrientes inducidas de baja frecuencia hacer un camino corto y seguir el círculo base o línea raíz del engranaje en vez de seguir el perfil del diente. Véase por ejemplo la FIG. 1(b) y líneas 110 de perfil térmico representativas. El resultado es un calentamiento más intenso del área curva de la raíz comparado con la punta del diente. Normalmente, para proporcionar un patrón de dureza que siga el perfil del diente del engranaje (desde la punta hasta la raíz) se requiere precalentar el engranaje. Dependiendo de la geometría del engranaje, el precalentamiento es normalmente conseguido mediante el uso de una frecuencia media o baja (por ejemplo menos de 20 kHz). La frecuencia alta (por ejemplo 30 kHz hasta 450 kHz) es aplicada durante la etapa de calentamiento final.

El endurecimiento de inducción eléctrica de engranajes con ejes de intersección y ejes de no intersección (no paralelos) presenta un desafío técnico en que las características de los dientes del engranaje, tales como contorno del diente que incluye raíz, ángulos de pendiente y cara, altura del diente, regiones curvas del diente y ancho de la cara, pueden variar dependiendo de la aplicación particular del engranaje. Para ilustraciones típicas de tales engranajes vea: Fig. 13 de "Gears Materials, Properties, and Manufacture", editado por J.R. Davis, Davis y Asociados, publicado por ASM International, Material Parks, OHIO, 2005, para engranajes de bisel recto, de bisel en espiral, de bisel cero e hipoides; la FIG. 18 de la misma referencia para un ejemplo típico de un diseño de engranaje espiroide; y la FIG. 15 de la misma referencia para terminología de engranaje de cara típica. La FIG. 3(c) de esta especificación identifica terminología de diente de engranaje típica.

Un objeto de la presente invención es proporcionar un aparato y método de tratamiento térmico de inducción de regiones de dientes de engranajes con ejes de intersección y ejes de no intersección (no paralelos) para mejorar la

uniformidad y repetibilidad de perfiles de temperatura de calor inducida y patrones de dureza para regiones de dientes del engranaje.

Otro objeto de la presente invención es mejorar la robustez de un sistema de calentamiento por inducción para el tratamiento térmico de engranajes y artículos similares a engranajes. Los dispositivos de calentamiento por inducción según la técnica anterior son descritos en los documentos de EE.UU US2167798, US2005/039830 y US5360963 por ejemplo.

Breve descripción de la invención

En un aspecto de la presente invención hay un aparato para, y un método de, calentamiento por inducción eléctrica de un artículo similar a un engranaje que tiene uno o más salientes discretos desde una superficie del artículo, tal como los dientes del engranaje de tipos seleccionados de engranajes. Una bobina de inducción de al menos una única vuelta comprende al menos un segmento de bobina exterior, al menos un segmento de bobina interior y un segmento de bobina de transición que une los extremos adyacentes de cada uno de los al menos un segmento de bobina exterior e interior. El segmento de bobina exterior es dispuesto, en general, para calentar de manera inductiva la región anular exterior del uno o más salientes discretos del artículo, y el segmento de bobina de inducción interior es dispuesto, en general, para calentar de manera inductiva la región anular interior del uno o más salientes discretos cuando el artículo es rotado adyacente a la bobina de inducción y una corriente alterna es suministrada a la bobina de inducción de al menos una única vuelta. El segmento de transición es dispuesto para atravesar al menos parcialmente a lo largo de la longitud del uno o más salientes discretos desde la superficie del artículo cuando el artículo es rotado. Cuando el uno o más salientes desde la superficie del artículo son rotados bajo la bobina de inducción de única vuelta con corriente alterna suministrada a la bobina el artículo similar a un engranaje es calentado de manera inductiva.

En algunos ejemplos de la invención el artículo similar a un engranaje es un engranaje de ejes de intersección o un engranaje de ejes de no intersección y ejes no paralelos donde el uno o más salientes desde la superficie del artículo son dientes del engranaje.

El anterior y otros aspectos de la invención son expuestos en esta especificación y las reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

Los dibujos adjuntos, como se resume brevemente a continuación, son proporcionados para comprensión ejemplar de la invención, y no limitan la invención como se expone en esta especificación y las reivindicaciones adjuntas.

La FIG. 1(a) y la FIG. 1(b) ilustra un método de la técnica anterior de tratamiento térmico de inducción de un engranaje de eje paralelo.

La FIG. 2(a) es una vista superior esquemática de un ejemplo del aparato de tratamiento térmico de inducción eléctrica de la presente invención.

La FIG. 2(b) es una vista en perspectiva esquemática del aparato de tratamiento térmico de inducción eléctrica mostrado en la FIG. 2(a).

La FIG. 3(a) y la FIG. 3(b) son vistas superiores esquemáticas y cortes transversales (a través de la línea B-B en la FIG. 3(a)) de un tipo de engranaje que puede ser endurecido con el aparato de tratamiento térmico de inducción eléctrica de la presente invención.

La FIG. 3(c) es una ilustración de terminología de diente de engranaje típica.

La FIG. 4(a) es una vista transversal a través de la línea A-A en la FIG. 2 de la bobina de inducción ilustrada en la FIG. 2(a).

La FIG. 4(b) ilustra en sección transversal una región calentada por inducción solapada de la pieza de trabajo que en una rotación completa de la pieza de trabajo pasa bajo un segmento de tanto el segmento de bobina exterior como el interior.

La FIG. 4(c) es una vista transversal de otro ejemplo de una bobina de inducción de la presente invención donde la región saliente del segmento de bobina exterior se extiende hacia abajo parcialmente a lo largo del lado de la pieza de trabajo.

La FIG. 5(a) es una vista superior de otro ejemplo del aparato de tratamiento térmico de inducción eléctrica de la presente invención.

La FIG. 5(b) es una vista transversal a través de la línea C-C en la FIG. 5(a) de otro aparato de tratamiento térmico de inducción eléctrica mostrado en la FIG. 5(a).

La FIG. 5(c) es una vista transversal a través de la línea D-D en la FIG. 5(b) del aparato de tratamiento térmico de inducción eléctrica mostrado en la FIG. 5(b) excepto por la pieza de trabajo y estructura de soporte asociada.

La FIG. 6(a) y FIG. 6(b) ilustran un ejemplo de potencia de inducción aplicada y registro de energía consumida, respectivamente, para un ejemplo del proceso de tratamiento térmico de inducción eléctrica de la presente invención.

La FIG. 7(a) y la FIG. 7(b) ilustran un ejemplo del cambio en duración de etapas de empapado progresivo y el cambio en los niveles de energía previos al calentamiento por inducción, respectivamente, para etapas previas al calentamiento progresivo.

Descripción detallada de la invención

Un ejemplo no limitante del aparato de tratamiento térmico eléctrico de la presente invención es ilustrado de manera esquemática en la FIG. 2(a) y la FIG. 2(b). La bobina 10 de inducción comprende tres segmentos de bobina, a saber el segmento 12 de bobina exterior, el segmento 14 de bobina de transición y el segmento 16 de bobina interior (cada segmento ilustrado en sombreados de ángulos diferentes en la FIG. 2(a)). Como se ilustra en las figuras, en relación a la ubicación del eje central, Z_r , de una pieza de trabajo a ser calentada de manera inductiva con el aparato, el segmento de bobina exterior es dispuesto de manera radial más lejos del eje Z_r que el segmento de bobina interior, con el segmento de bobina de transición que une los extremos de los extremos de bobina exterior e interior como se ilustra en la FIG. 2(a) y en la FIG. 2(b). Estos extremos pueden ser referidos como los extremos interiores de los segmentos de la bobina exterior e interior. Los extremos opuestos de los segmentos de la bobina exterior e interior son conectados a una fuente 20 de potencia de ac a través de los conductores 20a y 20b eléctricos. Estos extremos pueden ser referidos como los extremos exteriores de los segmentos de la bobina exterior e interior.

La bobina 10 de inducción puede de manera opcional incluir un elemento 10a base, como se ilustra de manera esquemática en la FIG. 2(b), sobre el cual los segmentos exterior, interior y de transición se forman. El elemento base puede de manera opcional ser conductor eléctrico o no conductor eléctrico, y puede servir una función auxiliar, tal como proporcionar espacio para componentes de un sistema de enfriamiento como se describirá más en detalle a continuación.

A modo de ejemplo, y no limitación, el aparato de tratamiento térmico eléctrico de la presente invención es particularmente adecuado para el tratamiento térmico por inducción de piezas de trabajo representadas por las regiones de dientes del engranaje de engranajes con ejes de intersección y ejes de no intersección (no paralelos), tales como, pero no limitados a, engranajes de bisel recto, de bisel en espiral, de bisel cero, hipoide, y espiroide, que pueden ser generalizados como piezas de trabajo con una región de dientes de pendiente cónica y anular, ilustrado de manera esquemática como una región 90a sombreada para el engranaje 90 en la FIG. 3(a) y la FIG. 3(b). Estos tipos de engranajes son generalmente distinguidos por variaciones en el contorno del diente que incluye ángulos de raíz, pendiente y cara, altura del diente, regiones curvas del diente, y ancho de cara, que variarán dependiendo de un tipo particular y aplicación del engranaje. Como se explicará a continuación más en detalle el aparato de tratamiento térmico de inducción eléctrica de la presente invención es particularmente ventajoso en alcanzar un endurecimiento del diente del engranaje substancialmente uniforme con tales variaciones en el ángulo del diente, altura del diente y/o regiones curvas del diente, así como el ancho de la cara del engranaje.

En una disposición típica pero no limitante, la bobina 10 de inducción mostrada en la FIG. 2(a) y la FIG. 2(b) está invertida y la pieza de trabajo 90 está puesta debajo de la bobina de inducción con la región de dientes del engranaje enfrente de la bobina de inducción. Una cara de cada segmento de la bobina de inducción se opone a las regiones de uno o más salientes discretos como se describirá más en detalle en este documento. La pieza de trabajo es rotada como se describirá más en detalle a continuación.

Los segmentos 12 y 16 de la bobina exterior e interior pueden ser arqueados, o de otras formas, para formar la forma de la región de la pieza de trabajo que es tratada térmicamente, y para lograr un perfil de tratamiento térmico de inducción particular. La pieza de trabajo 90, aunque referida generalmente como un engranaje, puede también ser un artículo similar a un engranaje donde uno o más elementos de la pieza de trabajo sobresalen desde una superficie de la pieza de trabajo similar a un diente de engranaje que sobresale desde la superficie de un engranaje, pero no necesariamente con la simetría o similitud de cada uno del uno o más elementos. Por ejemplo la región 90a de dientes del engranaje sale desde la superficie 90e en la FIG. 3(b). Las longitudes L_{ocs} y L_{ics} , así como los anchos w_{ocs} y w_{ics} , en la FIG. 4(a) de los segmentos de bobina exterior e interior, respectivamente, pueden ser seleccionados para controlar el patrón de distribución del calor inducido sobre la cara o región de la pieza de trabajo.

En los preferidos, pero no limitantes ejemplos de la invención, el segmento de la bobina de transición es generalmente orientado de manera que la corriente de Foucault inducida en las regiones de dientes del engranaje calentado de manera inductiva generalmente fluye en una dirección transversal a lo largo de la longitud de los dientes del engranaje, que induce calor en las raíces de los dientes del engranaje. Generalmente esto se consigue mediante la orientación de la longitud del segmento de la bobina para que corte transversalmente al menos parcialmente a lo largo de la longitud del ancho 90b' de cara de los dientes del engranaje como se ilustra en la FIG. 2(a) para los dientes 90b del engranaje ejemplares, que son mostrados de manera esquemática en la figura.

La frontera interior, r_{ics} del segmento 16 de la bobina interior es normalmente mayor que la frontera radial interior, r'_{wp} , de la región de dientes de la pieza de trabajo 90, que asiste en la distribución del calor inducido en la región de dientes de la pieza de trabajo. Esto también evita sobrecalentamiento en la pieza de trabajo cerca de su frontera interior (debido al efecto de anillo electromagnético), que evita excesiva profundidad de la dureza del calor del tratamiento en la misma región.

La frontera exterior, r_{ocs} del segmento 12 de la bobina exterior es normalmente mayor que la frontera exterior, r_{wp} , de la pieza de trabajo 90, que asiste en la distribución controlada del calor inducido en la región de dientes de la pieza de trabajo. Esto también evita infra calentamiento en la pieza de trabajo cerca de su frontera interior (debido al efecto del extremo electromagnético), que evita reducida profundidad de la dureza del calor del tratamiento en la misma región.

Cambiar la relación de anchura de los segmentos (definida como la relación del ancho promedio, w_{ics} , del segmento de la bobina interior al ancho promedio, w_{ocs} , del segmento de la bobina exterior como se ilustra, por ejemplo, en la FIG. 4(a)) asiste en la distribución controlada de calor inducido entre las regiones frontera exterior e interior de la pieza de trabajo. Preferiblemente, pero no a modo de limitación, el ancho del segmento de la bobina exterior es menor que el ancho del segmento de la bobina interior como se ilustra para el ejemplo de la bobina 10 de inducción de la presente invención en la FIG. 2(a), FIG. 2(b) y FIG. 4(a). La FIG. 4(a) también ilustra que el segmento 12 de la bobina exterior sobresale el borde de la pieza de trabajo 90 una distancia OH_{ocs} . Además como la pieza de trabajo 90 es rotada por debajo de la bobina 10 de inducción con una corriente de ac aplicada a la bobina, hay un segmento 90d anular de la región de dientes del engranaje que se beneficia de una superposición radial, OL, de los segmentos de la bobina exterior e interior como se ilustra en sección transversal en la FIG. 4(b) y círculos discontinuos en la FIG. 2(a) que generalmente representa la región de barrido radial más ancha bajo los segmentos de la bobina exterior e interior.

La FIG. 4(c) ilustra otro ejemplo de una bobina 10a de inducción usada con el aparato de calor por inducción eléctrica de la presente invención donde el segmento 12a de la bobina exterior sobresale el borde de la pieza de trabajo 90 por una distancia OH_{ocs} y se extiende parcialmente hacia abajo a lo largo del borde de la pieza de trabajo. Esta disposición opcional asiste en el calentamiento inducido del borde exterior de la región de dientes del engranaje o borde exterior de la región a ser calentada de manera inductiva.

La FIG. 5(a), la FIG. 5(b) y la FIG. 5(c) ilustran otro ejemplo del aparato 11 de tratamiento térmico de inducción eléctrica de la presente invención donde la bobina de inducción es enfriada mediante un medio fluido y un sistema de enfriado opcional es proporcionado para enfriar rápidamente la pieza de trabajo tras el calentamiento por inducción. Un recinto 11a es proporcionado para formar una cámara enfriadora cerrada en la base de la bobina 10c de inducción. La bobina comprende el segmento 12c de la bobina exterior, el segmento 14c de la bobina de transición y el segmento 16c de la bobina interior, como se ve mejor en sombreados de ángulos diferentes para cada segmento en la FIG. 5(c). La pieza de trabajo 90c puede ser un engranaje hipoide (mostrado en sección transversal en la FIG. 5(b)) con región 90c' de dientes del engranaje (mostrada de manera esquemática en sombreado) dispuesta por debajo de los segmentos de la bobina. El rotador 80 proporciona un medio para rotar la pieza de trabajo 90c, y en este ejemplo no limitante, comprende una estructura 82 de montaje de la pieza de trabajo y un impulsor 84 rotacional, tal como un motor eléctrico, con su eje de salida conectado a la estructura de montaje para rotar la estructura de montaje y la pieza de trabajo 90c. Las entradas 40 de enfriamiento proporcionan pasajes de entrada para el flujo de un medio de enfriamiento, tal como agua, en la cámara 42 de enfriamiento cuando una fuente adecuada de enfriamiento es conectada a las entradas 40. Los pasajes 44 de enfriamiento formados a través de segmentos de la bobina que permiten el flujo del enfriamiento desde la cámara de enfriamiento a las salidas 46 del pasaje para rociar enfriador en la pieza de trabajo 90c durante el proceso de endurecimiento del engranaje. Una fuente adecuada de potencia de ac es conectada a los terminales 20a' y 20b' de potencia y alimentan la bobina 10c de inducción a través del conducto 49 de suministro. En este ejemplo no limitante los segmentos de la bobina de inducción son enfriados mediante un medio fluido, tal como agua, suministrado desde una fuente adecuada a la entrada 52 y alimenta la cámara 50 de enfriamiento anular cerrada (FIG. 5(b)) incrustada en la parte inferior, u otras porciones de los segmentos de la bobina de inducción a través del conducto 49 de suministro con medio de enfriamiento de retorno que sale del aparato a través de la salida 54.

En referencia a la FIG. 5(b), en cualquier ejemplo de la presente invención, tanto los segmentos de la bobina exterior como el interior pueden ser perfilados en sección transversal como se ilustra en la región 12d'' para la bobina 12d exterior donde, por ejemplo, la región interior del segmento de la bobina exterior tiene un hueco más grande entre las caras adyacentes del segmento de la bobina exterior y la pieza de trabajo 90c que el mismo hueco en la región exterior del segmento de la bobina exterior. Además los huecos para los segmentos de la bobina exterior e interior pueden ser diferentes dependiendo de los requisitos de calentamiento inducido deseados. También ilustrada en la FIG. 5(b) está la región 12d' opcional del segmento 12d de la bobina exterior, que se extiende parcialmente hacia abajo a lo largo del borde de la pieza de trabajo.

Mientras una bobina de inducción de vuelta única es ilustrada en los ejemplos anteriores de la invención, múltiples bobinas de vuelta única o una bobina de vuelta múltiple con segmentos de bobina exterior, de transición e interior, o combinaciones de los mismos con vueltas de bobinas circulares uniformes pueden ser usados en otros ejemplos de la invención. Además múltiples segmentos de interiores, exteriores y de transición pueden ser usados en una bobina

de vuelta única. La forma real de las secciones de la bobina interior, exterior y de transición variará dependiendo de una aplicación particular. El término "bobina de inducción de vuelta única" engloba una bobina que se extiende por menos de aproximadamente 360 grados alrededor de su eje central como se muestra en los ejemplos anteriores de la invención siempre que la bobina comprenda un segmento de la bobina exterior, de transición e interior como se ha descrito en este documento

La bobina de inducción de la presente invención puede ser esculpida a partir de una única pieza de material conductor eléctricamente, tal como cobre, o ensamblada a partir de componentes separados para los segmentos de la bobina interior, exterior y de transición. Por ejemplo la bobina 10c de inducción puede formarse a partir de una pieza de trabajo anular de cobre sólido mediante regiones de mecanizado de la pieza de trabajo para lograr la geometría deseada de los segmentos que forman la bobina de inducción. En ejemplos alternativos de la invención, menos que todos los segmentos de la bobina de inducción pueden tener cámaras de enfriamiento internas o pasajes, y menos que todos los segmentos de la bobina de inducción pueden tener salidas de enfriamiento.

En algunos ejemplos de la invención, un compensador de flujo puede posicionarse al menos parcialmente alrededor de uno de los segmentos de la bobina para dirigir el flujo magnético hacia la pieza de trabajo. Por ejemplo en referencia a la FIG. 4(b), un concentrador en forma de U puede ser posicionado por encima y a lo largo de los lados del segmento 12 de la bobina exterior al menos por una longitud parcial del segmento de la bobina exterior, o en referencia a la FIG. 4(c), un concentrador en forma de L puede ser posicionado por encima y a lo largo del lado que sobresale del segmento 12a de la bobina exterior al menos por una longitud parcial del segmento de la bobina exterior.

En el proceso de calentamiento por inducción de la presente invención, el tratamiento térmico de las regiones de la pieza de trabajo para la temperatura final puede hacerse en dos o más etapas de calentamiento durante las cuales la pieza de trabajo es rotada por debajo del inductor. Normalmente la etapa de calentamiento inicial es seguida por una o más etapas de calentamiento intermedias para precalentar la pieza de trabajo. Una potencia relativamente baja es aplicada durante las etapas de precalentamiento inicial e intermedia. Esas etapas son normalmente seguidas por una o más etapa o etapas de duración corta, alta potencia, de calentamiento final. Las etapas de precalentamiento se alternan con etapas de empapado durante las cuales no se aplica potencia de inducción a la pieza de trabajo para permitir que el calor inducido durante las etapas anteriores de calentamiento penetre (empape) en la región de dientes del engranaje. Con el aparato de tratamiento térmico de inducción de la presente invención, la duración de las etapas de empapado aumenta mientras el consumo de energía durante las etapas de precalentamiento disminuye sobre lo que previamente se lograba.

Un ejemplo de tal proceso es ilustrado en la FIG. 6(a) y la FIG. 6(b). En referencia a la FIG. 6(a) el nivel de potencia de la etapa S1 de precalentamiento inicial de 60 kW es aplicado durante 24 segundos con la velocidad de revolución de la pieza de trabajo de 250 revoluciones por minuto; después 6 segundos de la etapa SK1 de empapado durante la cual la pieza de trabajo puede continuar rotando a 250 revoluciones por minuto; segundo nivel de potencia de la etapa S2 de precalentamiento de 60 kW es aplicado durante 8 segundos con la velocidad de revolución de la pieza de trabajo de 250 revoluciones por minuto, después 9 segundos de la etapa SK2 de empapado durante la cual la pieza de trabajo puede continuar rotando a 250 revoluciones por minuto; tercer nivel de potencia S3 del estado de precalentamiento de 60 kW es aplicado durante 4 segundos con la velocidad de revolución de la pieza de trabajo de 250 revoluciones por minuto, después 10 segundos de la etapa SK3 de empapado durante la cual la pieza de trabajo puede continuar rotando a 250 revoluciones por minuto; cuarto nivel de potencia de la etapa S4 de precalentamiento de 60 kW es aplicado durante 3 segundos con la velocidad de revolución de la pieza de trabajo de 250 revoluciones por minuto, después 12 segundos de la etapa SK4 de empapado durante la cual la pieza de trabajo puede continuar rotando a 250 revoluciones por minuto. Después de la etapa SK4 de empapado, un alto nivel de potencia de la etapa S5 de calentamiento de 350 kW es aplicado durante 0,5 segundos con la velocidad de revolución de la pieza de trabajo de 500 revoluciones por minuto. En este ejemplo la frecuencia de ac para las etapas de precalentamiento es 150 kHz y 150 kHz para la etapa de calentamiento final; una pieza de trabajo típica para este ejemplo no limitante tendría un diámetro exterior de 19,68 cm (7,75 pulgadas) y un diámetro interior de 13,33 cm (5,25 pulgadas). La FIG. 7(a) ilustra gráficamente el aumento en duración del tiempo de las etapas de empapado desde la etapa SK1 de empapado a la etapa SK4 de empapado. La FIG. 6(b) ilustra gráficamente la energía gastada en las etapas (E1 hasta E4) de precalentamiento mientras que la FIG. 7(b) ilustra gráficamente la tendencia en la disminución de la energía gastada en ir desde la etapa S1 de precalentamiento inicial a la etapa S4 de precalentamiento final.

La velocidad de rotación preferible de la pieza de trabajo durante la etapa de calentamiento final proporciona al menos dos revoluciones de cada diente del engranaje.

Mientras que en el ejemplo no limitante anterior de la invención la pieza de trabajo fue rotada durante las etapas de empapado, en otros ejemplos de la invención la pieza de trabajo puede ser estacionaria durante al menos parte de la una o más de las etapas de empapado.

Mientras que en el ejemplo no limitante anterior de la invención durante las etapas de precalentamiento y calentamiento final la velocidad de rotación de la pieza de trabajo es diferente, en otros ejemplos de la invención la velocidad de rotación puede ser la misma durante las etapas de precalentamiento y la etapa de calentamiento final.

5 Mientras que en el ejemplo no limitante anterior de la invención una única frecuencia fue usada durante las etapas de precalentamiento y la etapa de calentamiento final, en otros ejemplos de la invención, diferentes frecuencias pueden ser usadas durante las etapas de precalentamiento y la etapa de calentamiento final. Por ejemplo, una única frecuencia más baja, o múltiples frecuencias más bajas, pueden ser usadas en las etapas de precalentamiento para proporcionar un precalentamiento mejorado de áreas de raíz de dientes.

10 Mientras que en el ejemplo no limitante anterior de la invención la misma bobina de inducción puede ser usada para el precalentamiento y para el calentamiento final, en otros ejemplos de la invención diferentes bobinas de inducción, esto es, bobinas de inducción que tienen al menos un segmento interno, externo o de transición distintivo, y/o diferentes características de potencia suministrada, pueden ser usadas para uno o más de los estados de precalentamiento y/o calentamiento final. Por ejemplo mediante el uso de diferentes bobinas para estos estados se puede facilitar precalentar áreas seleccionadas de una cara de un engranaje de una pieza de trabajo a diferentes niveles de temperatura; para algunas geometrías de engranajes un gradiente de temperatura calentada sobre la cara del engranaje es deseable antes de la etapa de calentamiento final. Cuando se usan diferentes bobinas de inducción, un aparato de estación múltiple de la presente invención puede ser proporcionado donde cada estación incluye una bobina de inducción diferente, y la intervención de las etapas de empapado puede ocurrir bien en conjunto, o en parte, durante el tiempo que la pieza de trabajo es transportada entre las estaciones.

20 Mientras el ejemplo no limitante de la invención gráficamente ilustrado en la FIG. 6(a) y la FIG. 6(b) usa etapas de potencia aplicadas secuencialmente y etapas de potencia (empapado) no aplicadas, en otros ejemplos de una invención similar, o de otro modo deseable, el precalentamiento se puede conseguir mediante la aplicación de potencia de manera continua que es apropiadamente controlada (por ejemplo, variaciones de magnitud de potencia y/o frecuencia) en el tiempo.

25 Mientras en los ejemplos anteriores de la presente invención la pieza de trabajo es rotada mientras la bobina de inducción se mantiene estacionaria, en otros ejemplos de la invención la bobina de inducción puede ser rotada mientras que la pieza de trabajo se mantiene estacionaria, o una rotación combinada de tanto la bobina de inducción como de la pieza de trabajo puede ser usada.

Mientras que el eje central de la bobina de inducción y de la pieza de trabajo son substancialmente coincidentes en los ejemplos anteriores de la invención, en otros ejemplos de la invención, el eje central de la bobina de inducción puede ser compensado desde el eje central de la pieza de trabajo.

30 Los ejemplos anteriores de la invención han sido proporcionados con el simple propósito de la explicación, y de ninguna manera deben ser interpretados como limitantes de la presente invención. Mientras la invención ha sido descrita con referencia a varias realizaciones, las palabras usadas en este documento son palabras de descripción e ilustración, en vez de palabras de limitación. Aunque la invención ha sido descrita en este documento con referencia a medios, materiales y realizaciones particulares, la invención no pretende estar limitada a las particulares descritas en este documento; al contrario, la invención se extiende a todas las estructuras, métodos y usos equivalente de manera funcional. Los expertos en la técnica, que tienen el beneficio de las enseñanzas de esta especificación, pueden efectuar numerosas modificaciones a ella, y se pueden hacer cambios sin salirse del alcance de la invención en sus aspectos.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato de calentamiento por inducción eléctrica para calentar un artículo similar a engranaje que tiene una región anular de uno o más salientes (90a) discretos desde una superficie (90e) del artículo similar a un engranaje, el aparato que comprende:

5 una bobina (10) de inducción de al menos una vuelta que comprende:

un segmento (12) de la bobina exterior que tiene una cara del segmento de la bobina exterior que se opone, al menos en parte, a una región radialmente exterior de la región anular del uno o más salientes discretos, el segmento de la bobina exterior que tiene extremos exterior e interior del segmento de la bobina exterior, el segmento de la bobina exterior que está dispuesto para calentar de manera inductiva la región radialmente exterior del uno o más salientes discretos; y

10

un segmento (16) de la bobina interior que tiene una cara del segmento de la bobina interior que se opone, al menos en parte, a una región radialmente interior de la región anular del uno o más salientes discretos, el segmento de la bobina interior que tiene extremos exterior e interior del segmento de la bobina interior, el segmento de la bobina interior que está dispuesto para calentar de manera inductiva la región radialmente interior del uno o más salientes discretos;

15

una fuente (20) de corriente alterna conectada entre los extremos exteriores del segmento de la bobina exterior y del segmento de la bobina interior; y

medios para rotar (80) el artículo similar a un engranaje;

caracterizado por:

20

un segmento (14) de la bobina de transición conectado entre los extremos internos del segmento de la bobina exterior y el segmento de la bobina interior, el segmento de la bobina de transición que tiene una cara del segmento de la bobina de transición que se opone a una región transversal de la región anular y dispuesto en relación al artículo similar a un engranaje para atravesar al menos parcialmente a lo largo de la longitud de uno o más salientes discretos para calentar de manera inductiva la región transversal del uno o más salientes discretos.

25

2. Un aparato de calentamiento por inducción eléctrica según la reivindicación 1, donde el segmento de la bobina exterior o segmento de la bobina interior tiene forma arqueada.

3. Un aparato de calentamiento por inducción eléctrica según la reivindicación 1 ó 2, donde las longitudes (L_{ocs} , L_{ics}) y anchos (W_{ocs} , W_{ics}) de los segmentos de la bobina exterior e interior son variados para alcanzar un patrón de calentamiento inducido a lo largo de las regiones radialmente exterior e interior de uno o más salientes discretos.

30

4. Un aparato de calentamiento por inducción eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el ancho del segmento de la bobina exterior es menos que el ancho del segmento de la bobina interior.

5. Un aparato de calentamiento por inducción eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde la frontera (r_{ics}) interior del segmento de la bobina interior es mayor que la frontera (r'_{wp}) interior del uno o más salientes desde un eje central (Z_r) del artículo similar a un engranaje, o donde la frontera (r_{ocs}) exterior del segmento de la bobina exterior es mayor que la frontera (r'_{wp}) exterior del uno o más salientes desde un eje central del artículo similar a un engranaje.

35

6. Un aparato de calentamiento por inducción eléctrica según la reivindicación 5, donde el segmento (12) de la bobina exterior sobresale el borde del artículo similar a un engranaje por una distancia de voladizo (OH_{ocs}).

40

7. Un aparato de calentamiento por inducción eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde al menos uno de los segmentos de la bobina exterior o interior de la bobina de inducción de al menos una vuelta es perfilado en la sección transversal.

8. Un aparato de calentamiento por inducción eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde una primera distancia de hueco formada respectivamente entre uno entre la cara del segmento de la bobina exterior o interior y la región exterior o interior radialmente opuesta de la región anular del uno o más salientes discretos es diferente de una segunda distancia de hueco formada respectivamente entre el otro de la cara del segmento de la bobina exterior o interior y la región exterior o interior radialmente opuesta de la región anular del uno o más salientes discretos.

45

9. Un aparato de calentamiento por inducción eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que incluye al menos un pasaje de medio de enfriamiento a través de al menos uno entre los segmentos de la bobina exterior, interior o de transición de la bobina de inducción de al menos una vuelta.

50

10. Un aparato de calentamiento por inducción eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que

incluye una base (10a) a la cual el segmento de la bobina exterior, el segmento de la bobina interior y el segmento de la bobina de transición están unidos.

5 11. Un aparato de calentamiento por inducción eléctrica según la reivindicación 10, donde la base (11a) comprende una cámara (42) de enfriamiento que tiene al menos una entrada (40) de enfriamiento para suministrar un enfriador de la cámara de enfriamiento y al menos uno de los segmentos de la bobina exterior, interior o de transición de la bobina de inducción de al menos una vuelta tiene una pluralidad de salidas (46) de enfriamiento para entregar enfriador a las regiones radialmente exterior, radialmente interior o transversal calentadas de manera inductiva del uno o más salientes discretos.

10 12. Un aparato de calentamiento por inducción eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el artículo similar a un engranaje es un engranaje de eje de intersección, o un engranaje de eje de no intersección y no paralelo y el uno o mas salientes discretos son dientes del engranaje.

13. Un método que calienta por inducción uno o más salientes discretos desde una superficie de un artículo similar a un engranaje, el método comprende:

15 rotar el artículo similar a un engranaje con el uno o más salientes discretos enfrentados a una bobina (10) de inducción de al menos una vuelta que comprende un segmento (12) de la bobina exterior que tiene una cara del segmento de la bobina exterior que se opone, al menos en parte, a una región radialmente exterior de una región anular del uno o más salientes discretos, el segmento de la bobina exterior que tiene extremos exterior e interior del segmento de la bobina exterior, el segmento de la bobina exterior que está dispuesto para calentar de manera inductiva la región radialmente exterior del uno o más salientes discretos; un segmento (16) de la bobina interior que tiene una cara del segmento de la bobina interior que se opone, al menos en parte, a una región radialmente interior de la región anular del uno o más salientes, el segmento de la bobina interior que tiene extremos exterior e interior de la bobina interior, el segmento de la bobina interior que está dispuesta para calentar de manera inductiva la región radialmente interior del uno o más salientes discretos; y

20 conectar una fuente de corriente (20) alterna a los extremos exteriores de los segmentos de la bobina exterior e interior para generar un campo de flujo magnético que se acopla con el uno o más salientes discretos para calentar de manera inductiva el uno o más salientes discretos;

el método que está caracterizado por que

30 la bobina de inducción de al menos una vuelta se enfrenta al uno o más salientes discretos que rotan con el artículo similar a un engranaje que además comprende un segmento (14) de la bobina de transición conectado entre los extremos internos del segmento de la bobina exterior y el segmento de la bobina interior, el segmento de la bobina de transición que tiene una cara del segmento de la bobina de transición que se opone a una región transversal de la región anular del uno o más salientes discretos para calentar de manera inductiva la región transversal del uno o más salientes discretos.

35 14. Un método según la reivindicación 13, que incluye el paso de suministrar un medio de enfriamiento interno a al menos uno de los segmentos de la bobina exterior, interior o de transición de la bobina de inducción de al menos una vuelta.

15. Un método según la reivindicación 13 ó 14, que incluye el paso de suministrar un enfriador al uno o más salientes discretos a través de una pluralidad de aberturas de enfriamiento en al menos uno de los segmentos de la bobina exterior, interior o de transición de la bobina de inducción de al menos una vuelta.

40 16. Un método según cualquiera de las reivindicación 13 a 15, que incluye los pasos de calentar de manera inductiva el uno o más salientes discretos mediante una serie de periodos de tiempo de precalentamiento decrecientes en un nivel de potencia de precalentamiento, cada uno de los periodos de tiempo secuencialmente decrecientes que es seguido por un periodo de tiempo de empapado secuencialmente creciente y calentar de manera inductiva el uno o más salientes discretos mediante al menos un periodo de tiempo de calentamiento final en un nivel de potencia de calentamiento final seguido de la serie de periodos de tiempo secuencialmente decrecientes en el nivel de potencia de precalentamiento, el al menos un periodo de tiempo de calentamiento final que es substancialmente más corto que cualquiera de los periodos de tiempo de precalentamiento y el nivel de potencia de calentamiento final que es substancialmente más grande que el nivel de potencia de precalentamiento.

50 17. Un método según la reivindicación 16, donde las series de periodos de tiempo de precalentamiento secuencialmente decrecientes comprenden una serie de cuatro periodos de tiempo de precalentamiento secuencialmente decrecientes, el periodo de tiempo de precalentamiento final que es una mitad del periodo de tiempo de precalentamiento inicial, los periodos de tiempo de empapado secuencialmente crecientes comprenden una serie de cuatro periodos de tiempo de empapado secuencialmente crecientes, el periodo de tiempo de empapado final que es aproximadamente el doble del periodo de tiempo de precalentamiento inicial, el al menos un periodo de tiempo de calentamiento final que es aproximadamente 0,025 veces el periodo de tiempo de precalentamiento inicial, y la potencia de calentamiento final que es aproximadamente 5,4 veces la potencia de precalentamiento.

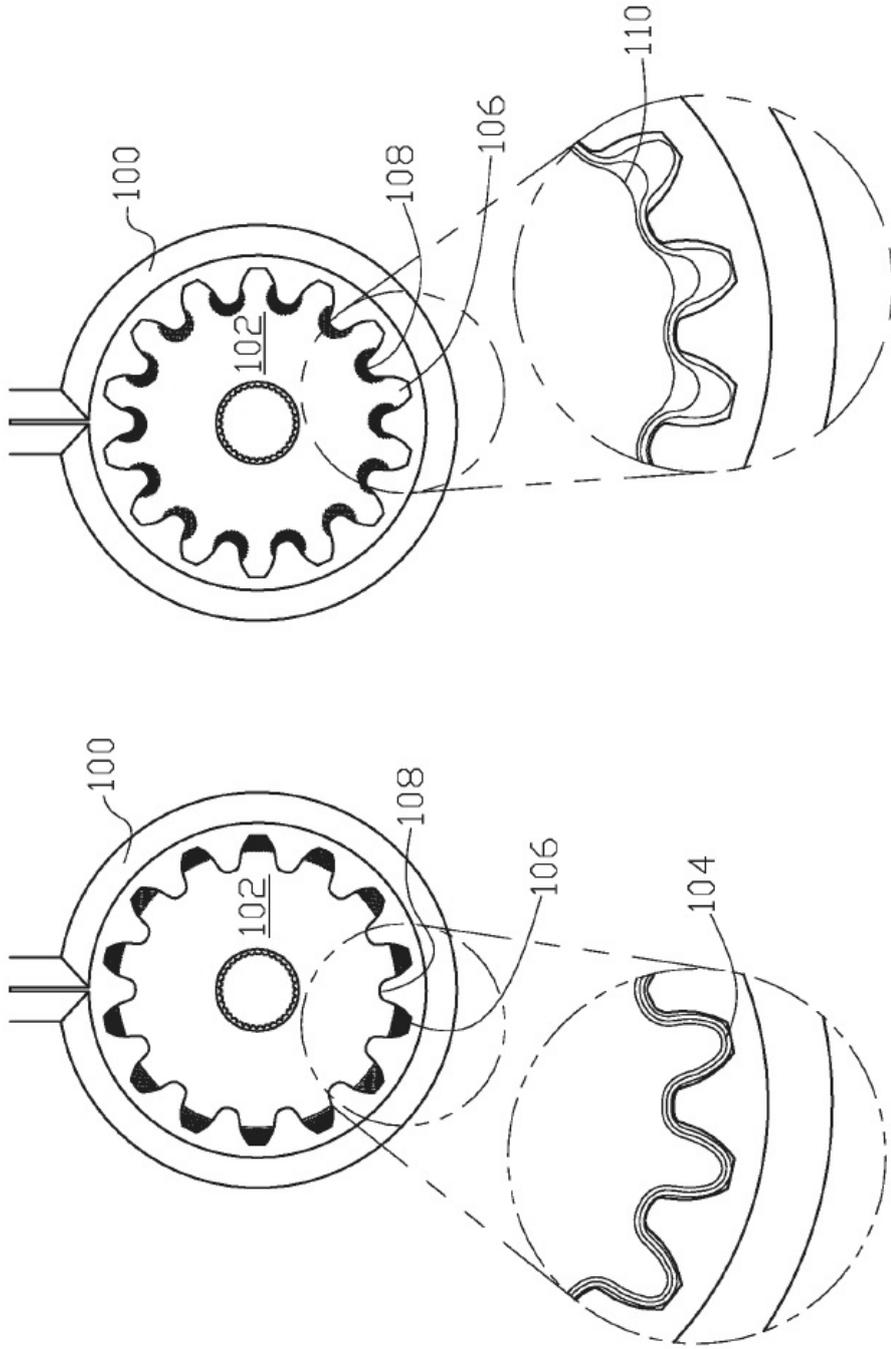


FIG. 1(b)

TÉCNICA ANTERIOR

FIG. 1(a)

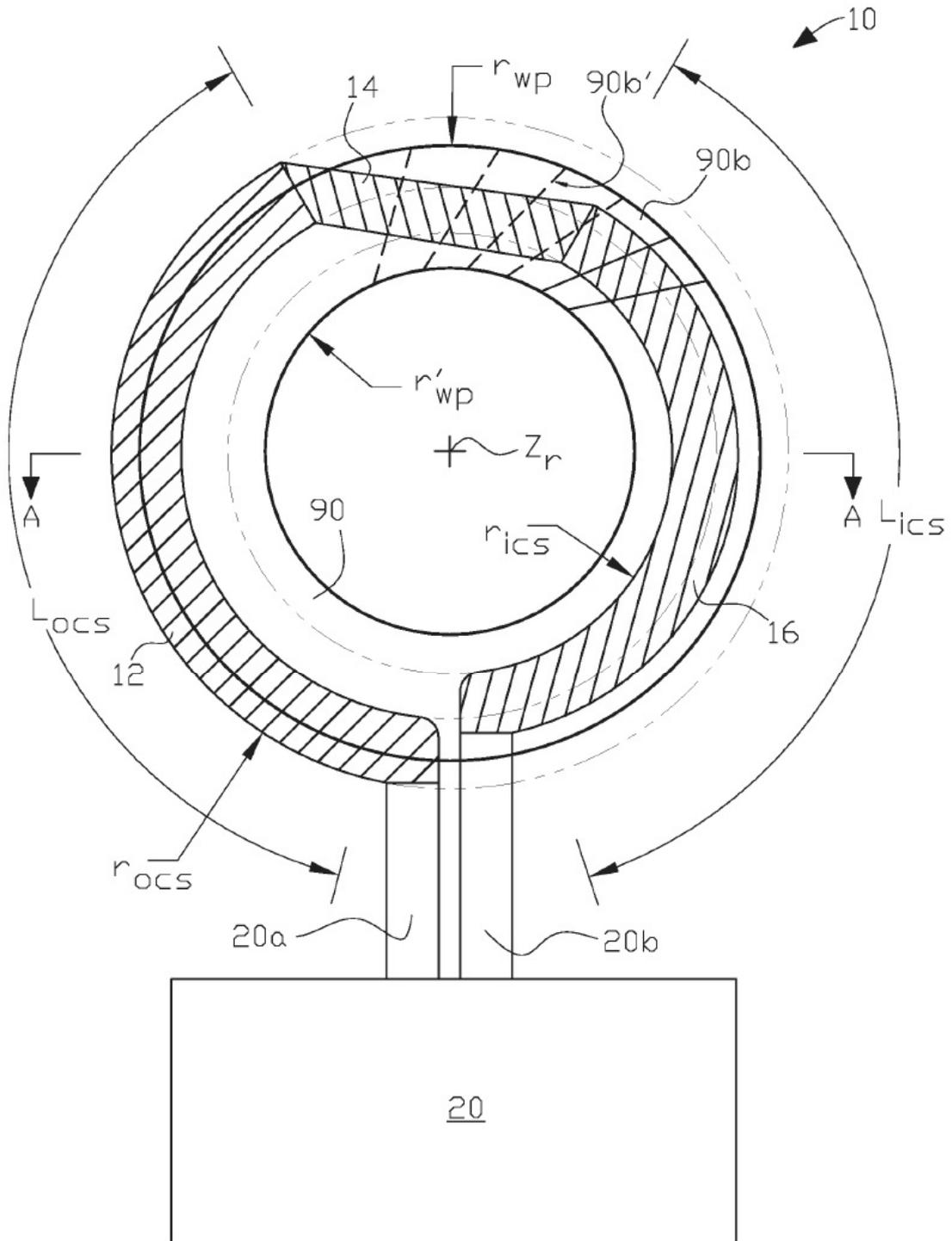


FIG. 2(a)

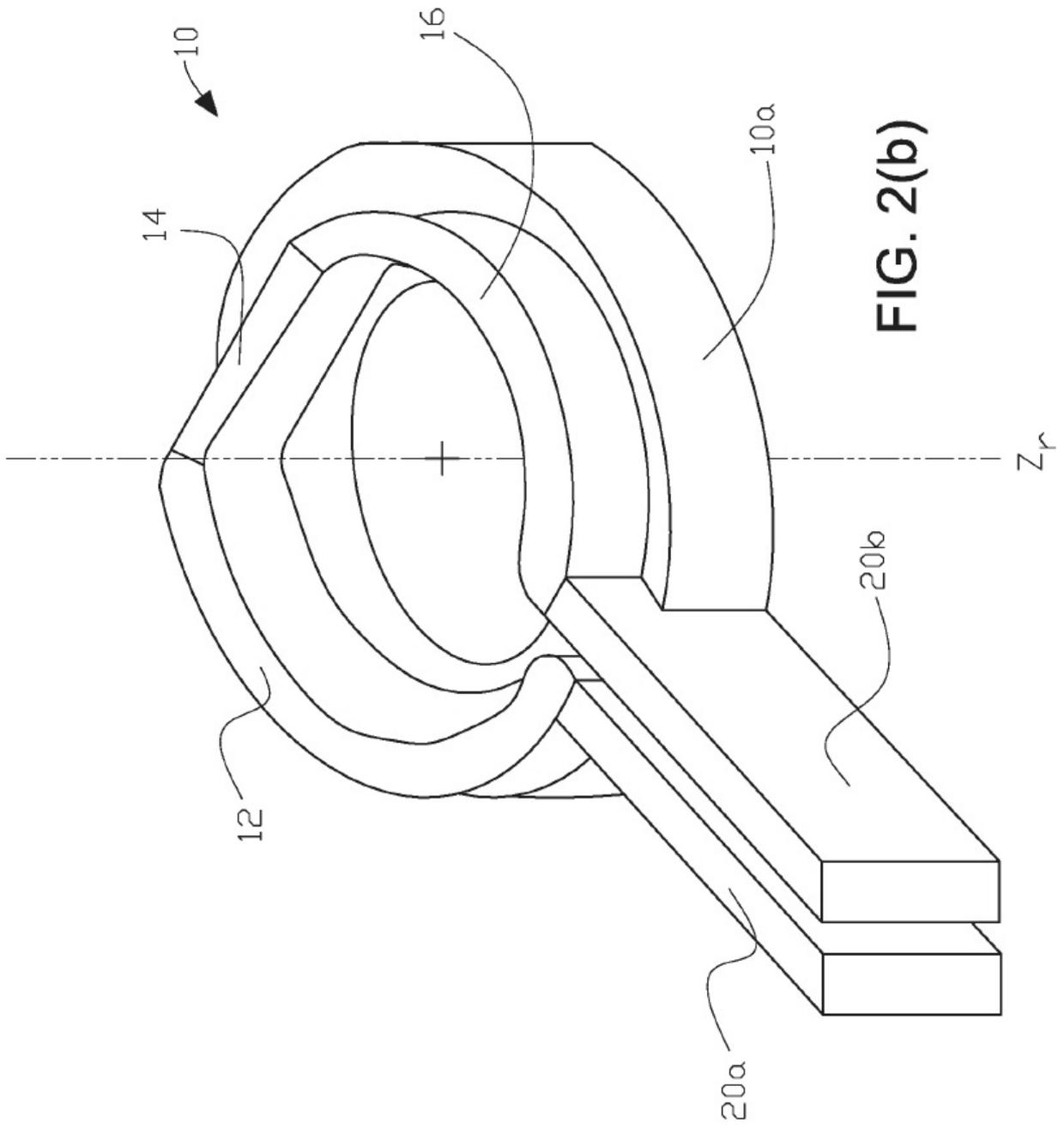


FIG. 2(b)

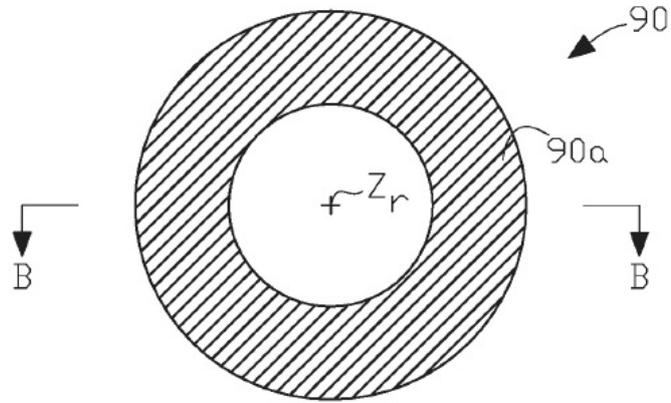


FIG. 3(a)

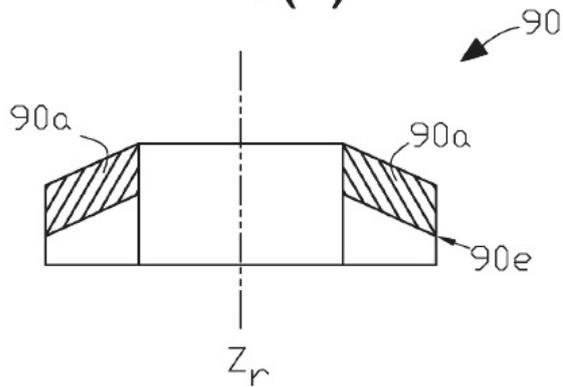


FIG. 3(b)

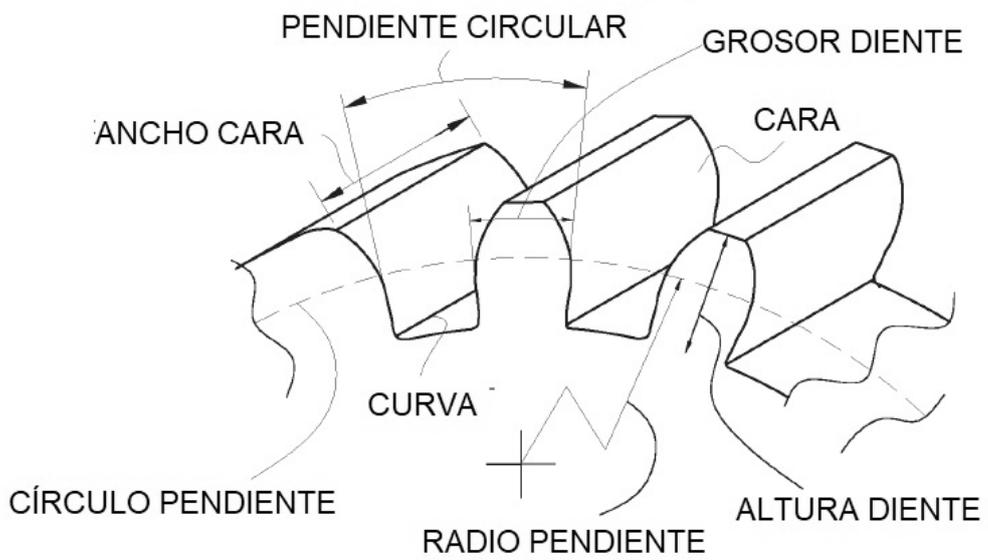
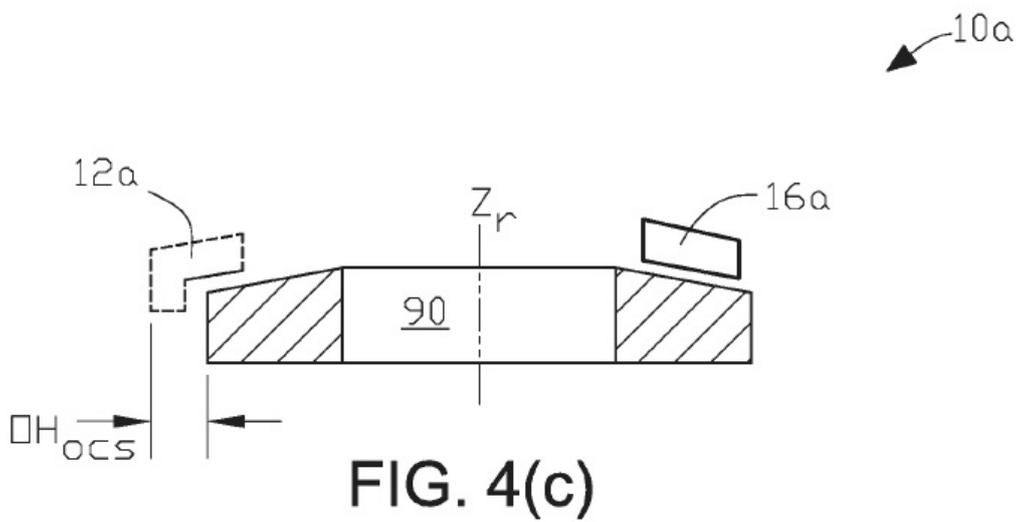
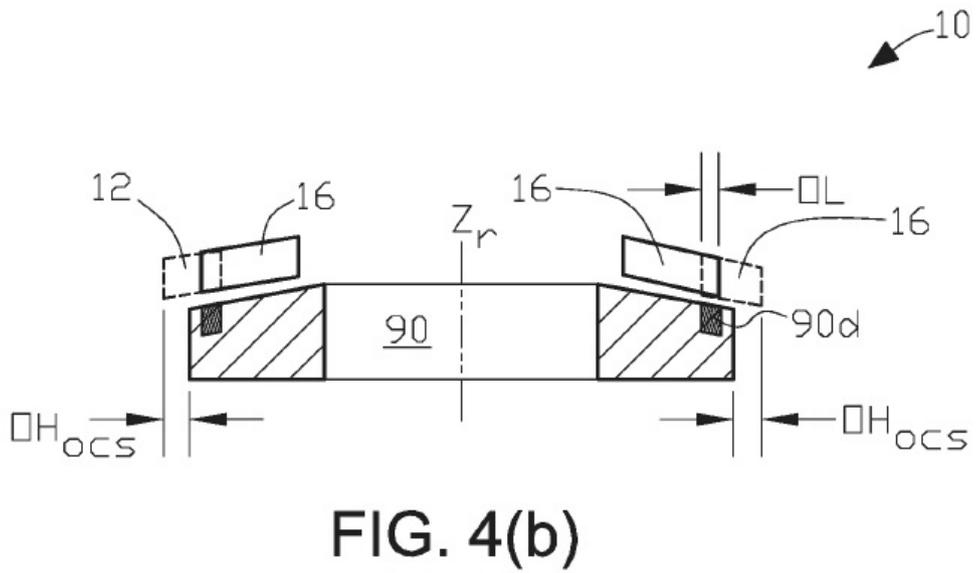
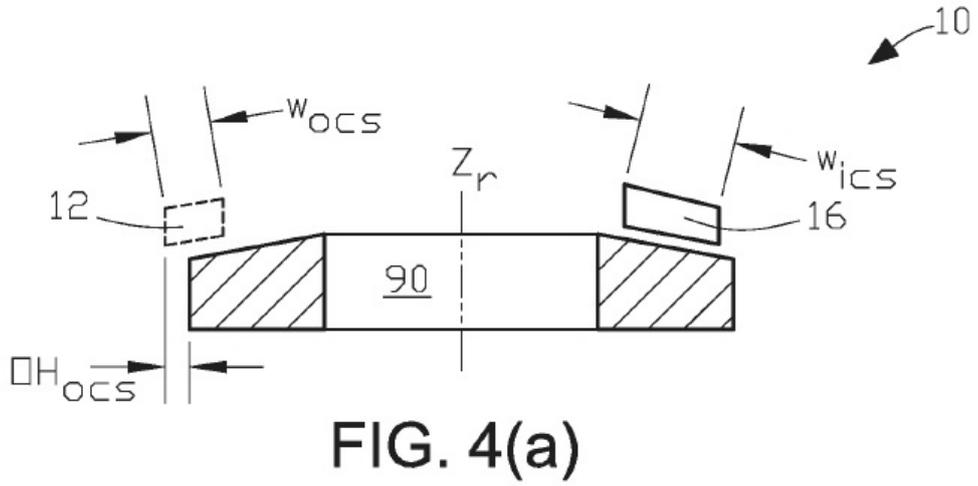


FIG. 3(c)



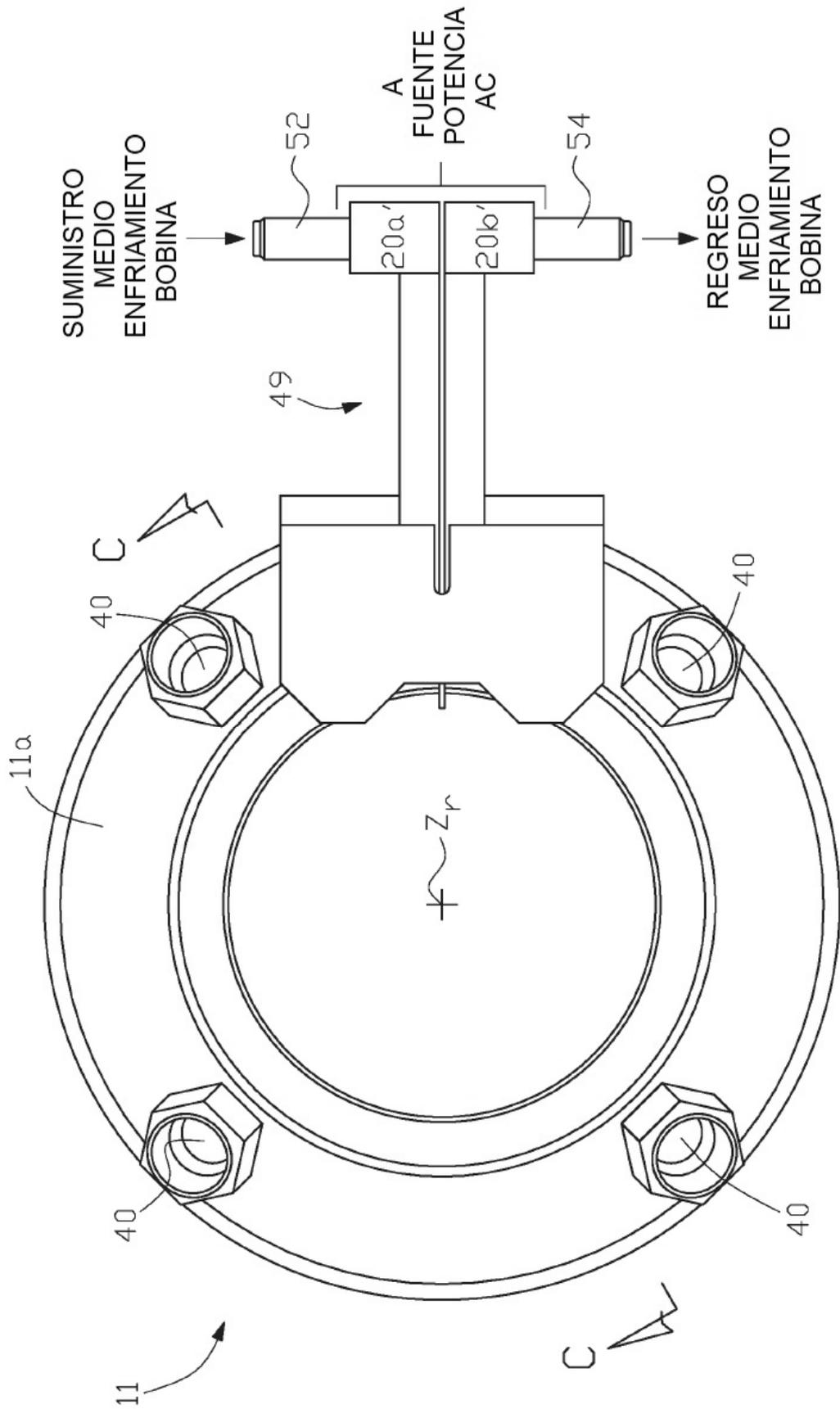


FIG. 5(a)

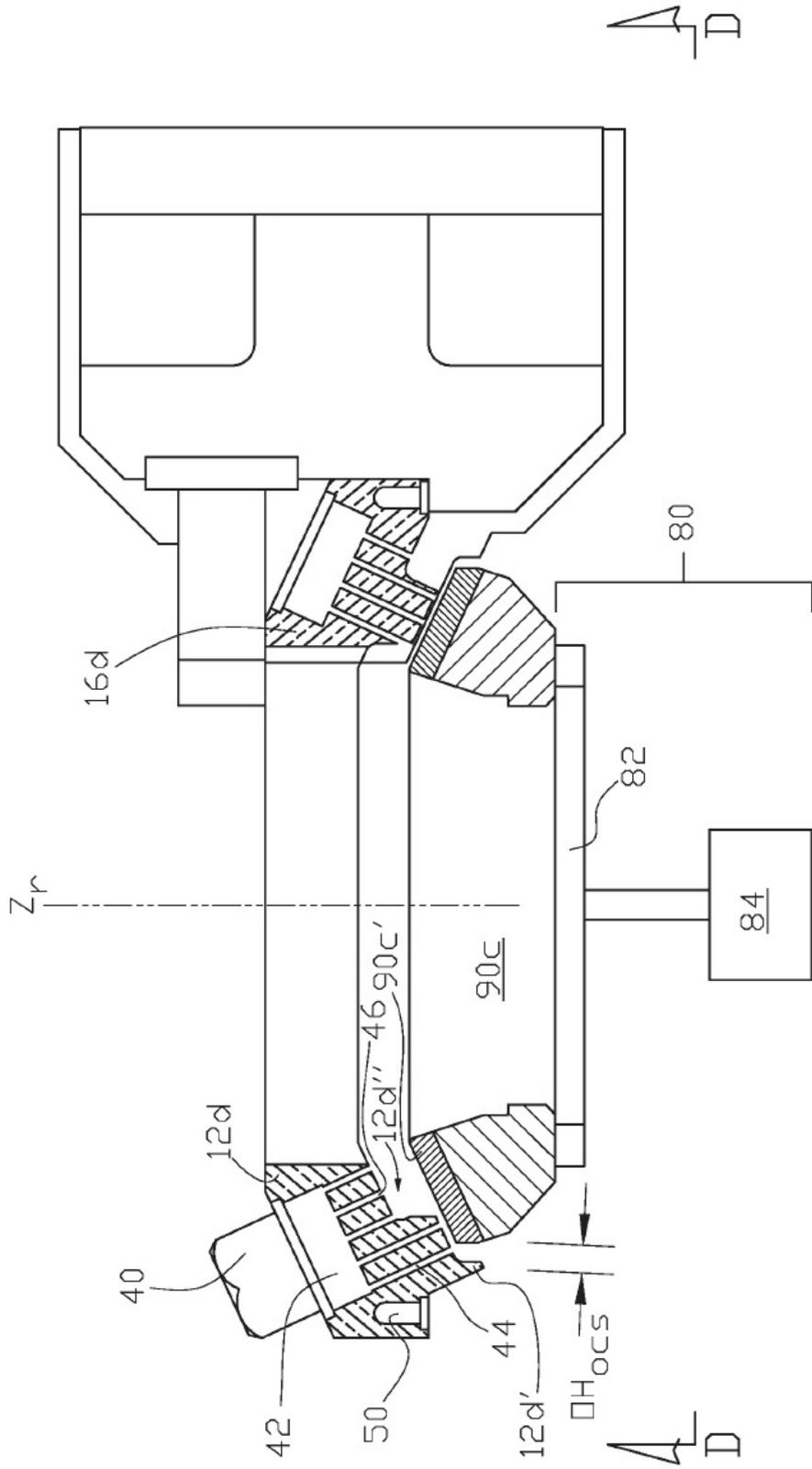


FIG. 5(b)

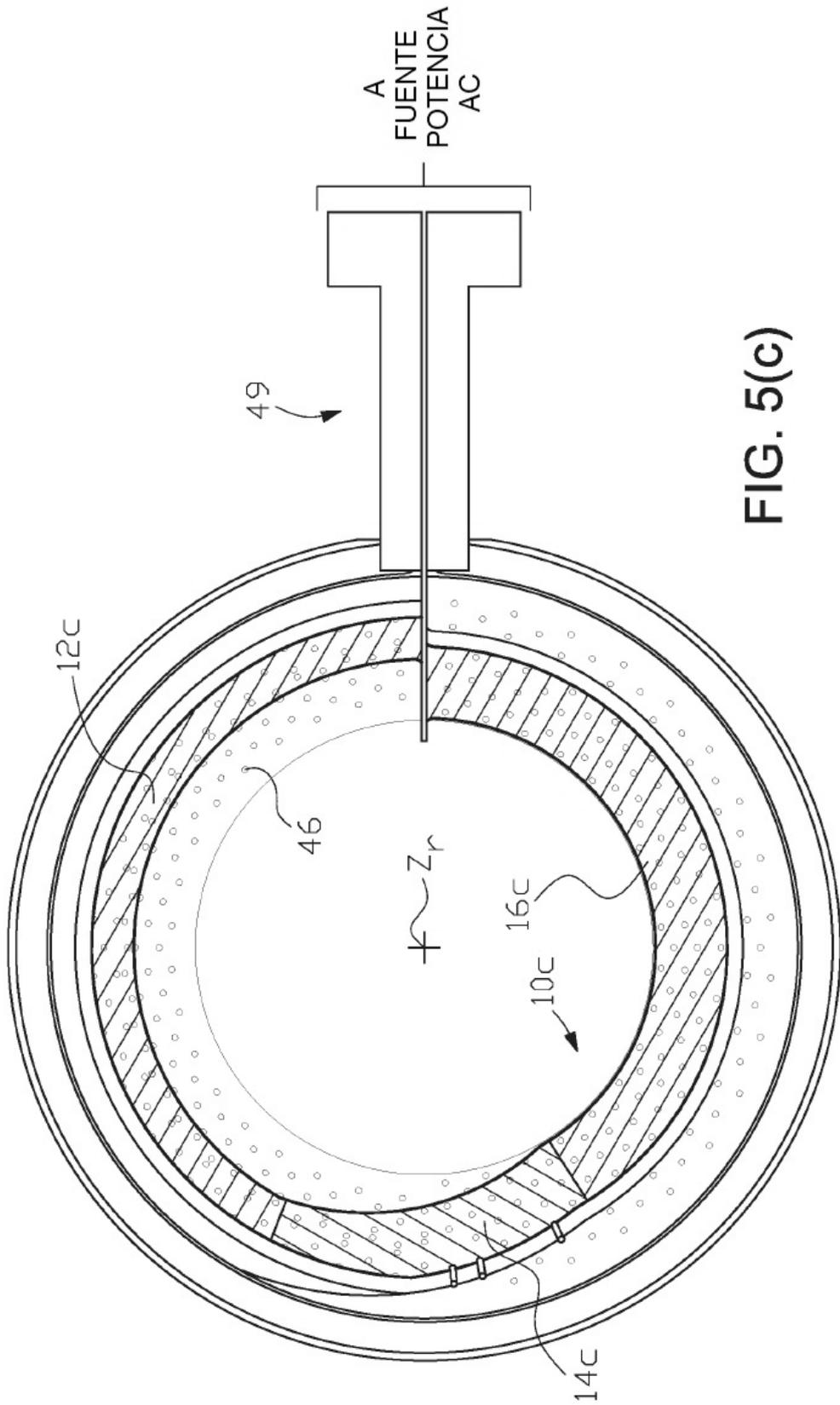


FIG. 5(c)

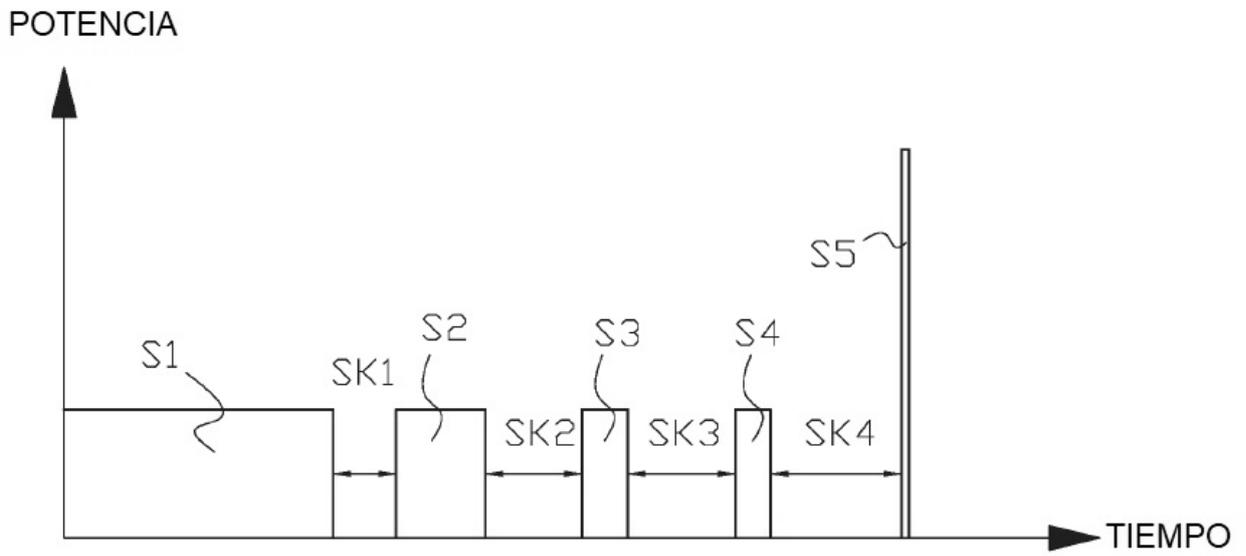


FIG. 6(a)

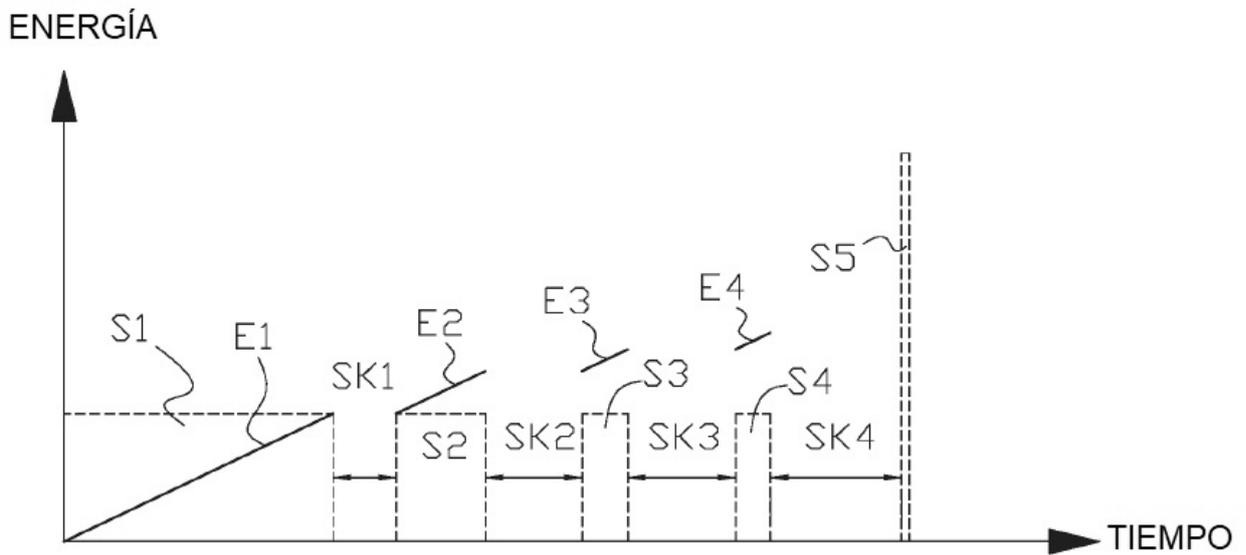


FIG. 6(b)

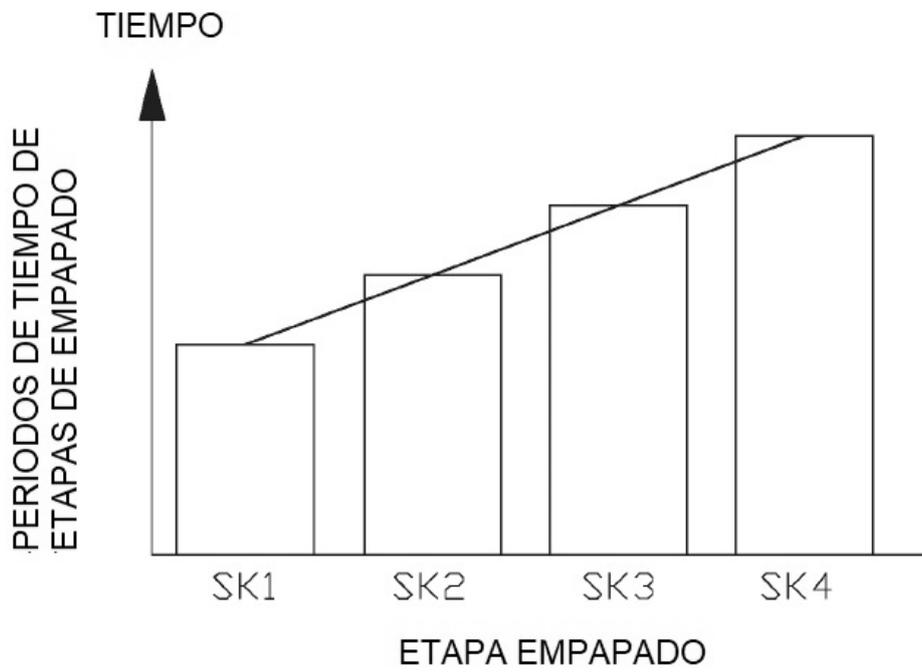


FIG. 7(a)

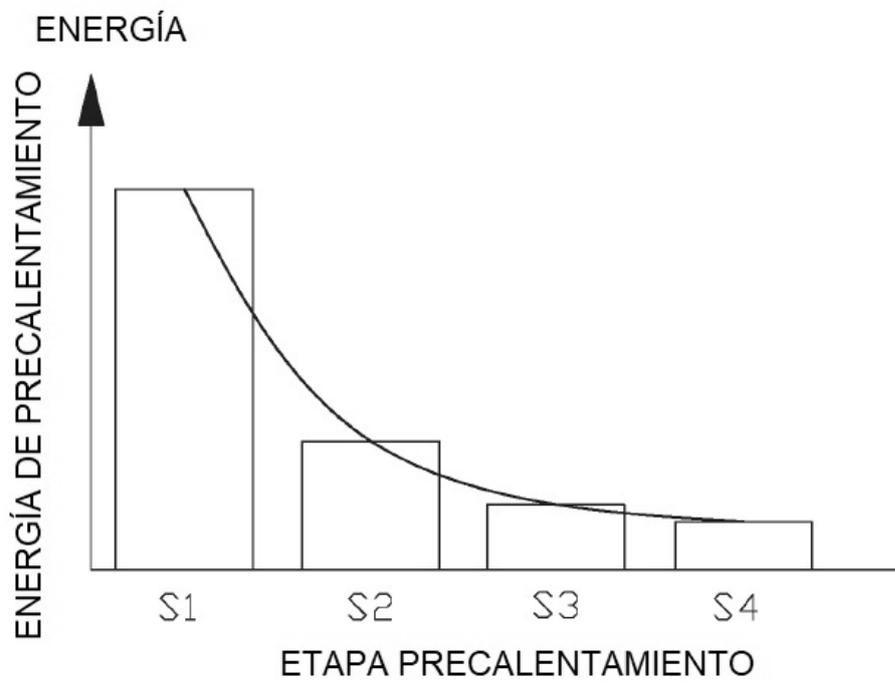


FIG. 7(b)