



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 279 430**

51 Int. Cl.:  
**B22D 41/62** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **04767284 .5**

86 Fecha de presentación : **08.06.2004**

87 Número de publicación de la solicitud: **1633512**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **15.03.2006**

54 Título: **instalación de colada continua para una puesta en rotación electromagnética del metal líquido en tránsito en la boquilla de colada.**

30 Prioridad: **17.06.2003 FR 03 07307**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**16.08.2007**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**16.08.2007**

73 Titular/es: **ARCELOR France**  
**1 à 5, rue Luigi Cherubini**  
**93200 Saint Denis, FR**

72 Inventor/es: **Galpin, Jean-Marie;**  
**Perrin, Gérard;**  
**Anderhuber, Marc y**  
**Bolcato, Robert**

74 Agente: **Curell Suñol, Marcelino**

ES 2 279 430 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

Instalación de colada continua para una puesta en rotación electromagnética del metal líquido en tránsito en la boquilla de colada.

La presente invención se refiere a la colada continua de los metales, del acero en particular, que utiliza una boquilla de colada sumergida que se sumerge en una lingotera dispuesta debajo. Más precisamente, la invención se refiere a la puesta en rotación axial de un metal líquido en tránsito en el seno de dicha boquilla entre el repartidor de colada y la lingotera.

Se sabe que la puesta en rotación axial del metal ya en el seno de la boquilla de colada es un medio reconocido de control de los flujos en la lingotera modificando la repartición de las burbujas de gas e inclusiones presentes en el metal líquido antes de su llegada a la lingotera. Se llega así a:

- reducir, incluso eliminar, los depósitos de inclusiones a lo largo de la pared interior de la boquilla así como, en caso de boquilla con toberas de salida laterales para la colada de llantones, a nivel de sus toberas y de su cubeta de fondo;
- reducir en gran manera la profundidad de penetración de las burbujas de gas e inclusiones en el pozo líquido del producto en curso de colada, por tanto también el riesgo de su entrapado sobre la cara intradós de los productos colados en máquina curva,
- reducir la velocidad de circulación del metal líquido bajo el menisco así como las fluctuaciones de nivel de éste;
- limitar las inestabilidades de flujo, de tipo balanceos de chorro, en la lingotera generado un efecto "giroscópico" sobre los flujos en la boquilla.

La puesta en rotación de los flujos en la boquilla de colada aparece así como un medio eficaz para luchar contra la aparición de los defectos de aspecto de superficie, de tipo ampollas y exfoliaciones, sobre chapas laminadas en frío de las aleaciones de acero para aplicación automovil y de los aceros para embalaje. Esta técnica permite por tanto la reducción de las operaciones de burilado en los llantones colados en continuo (reducción e incluso supresión de los defectos de superficie sobre las chapas de tipo exfoliación), la supresión de las desclasificaciones y de los litigios por defectos de ampolladuras, así como el aumento de productividad de las máquinas por el alargamiento de las secuencias y el aumento de las velocidades de colada.

La puesta en rotación del metal líquido en la boquilla de colada ha sido ya propuesto utilizando diferentes tipos de accionadores. Se puede esquemáticamente distinguir dos tipos de accionadores: los accionadores "pasivos" y los "activos".

Los accionadores "pasivos" son entre otros las modificaciones de diseño de la pared interna de la boquilla (por ejemplo: espirales), los órganos tales como hélice, boquilla interna helicoidal, etc... que están implantados en el cuerpo mismo de la boquilla, o las modificaciones de la parte superior de la boquilla en la unión con el repartidor (por ejemplo: cono de acelera-

ción) o también las modificaciones del órgano mismo de regulación del caudal de metal en la boquilla. Los principales inconvenientes de este tipo de accionadores son generar una velocidad de rotación directamente dependiente del caudal de metal que transita por la boquilla y constituir unos lugares privilegiados de depósitos de inclusiones en la boquilla, de lo que resulta un aumento potencial del riesgo de taponado.

Los accionadores "activos" son esencialmente de naturaleza electromagnética: un inductor electromagnético anular estático del tipo polifásico entorno a la boquilla a pequeña distancia en una parte de su longitud y genera un campo magnético que gira alrededor del eje de la colada destinado a arrastrar en rotación axial con él el metal líquido presente en la boquilla. Se encontrarán si es necesario unos ejemplos descritos en los documentos JP 06 023498 ó JP 07 108355 o también en JP 07 148561.

Sin embargo, los dispositivos electromagnéticos hasta aquí propuestos están, en su mayor parte, basados en la tecnología de los estatores lineales de campo giratorio tangencial que funcionan a baja, incluso muy baja frecuencia (<10 Hz). Estos dispositivos presentan en particular los inconvenientes de:

- generar velocidades de rotación a menudo demasiado débiles, teniendo en cuenta las frecuencias de corriente utilizadas, para obtener los efectos deseados (por ejemplo, a 4 Hz trifásico utilizable para un diámetro interno de boquilla de 80 mm, la velocidad de rotación teórica máxima es de 80 vueltas/min.),
- generar en el metal líquido un campo de fuerza muy concentrado cerca de la pared interior de la boquilla, lo que tiene como consecuencia crear una zona de alta depresión en la parte central de la boquilla donde el metal es entonces acelerado en la dirección vertical descendente;
- tener que funcionar con unas corrientes eléctricas de alta intensidad (>300-500 A), lo que conduce a unos dispositivos de tamaño importante a fin de poder asegurar su enfriado, por tanto poco fáciles de utilizar en una máquina de colada continua y además necesitar la utilización de un generador eléctrico muy oneroso.

Los otros son de campo magnético pasante, por tanto con polos sobresalientes bobinados con un par de polos por fase enfrentados uno al otro a uno y otro lado del eje de la boquilla. La invención se inscribe en esta categoría. Los mismos permiten liberarse de algunos de los inconvenientes mencionados anteriormente, en particular del fenómeno de depresión central. Sin embargo, la exigüidad del punto aliado a una potencia eléctrica instalada necesariamente elevada, así como la disminución buscada del entrehierro por aproximación entre el diente polar sobresaliente hacia el interior sobrepasando el arrollamiento y la boquilla para maximizar el acoplamiento electromagnético, conducen inevitablemente de hecho a un deterioro del rendimiento energético al mismo tiempo que a un cierto grado de desorganización posible de los movimientos de rotación del metal a consecuencia, en particular, de riesgos de puentes parásitos del flujo

magnético entre polos demasiado próximos que pertenecen a fases diferentes de la alimentación eléctrica.

El objeto de la presente invención es proponer una solución a una puesta en rotación electromagnética del metal líquido en el seno de una boquilla de colada que no presenta los inconvenientes de las soluciones conocidas.

A este fin, la invención tiene por objeto una instalación de colada continua de los metales, del acero en particular, en la cual la boquilla sumergida por la cual el metal en fusión a colar llega a la lingotera desde un repartidor de colada situado por encima esta rodeada por un inductor electromagnético anular estático de campo magnético móvil que gira alrededor del eje de colada destinado a arrastrar en rotación axial con él el metal en fusión, siendo dicho inductor de tipo polifásico de campo magnético pasante provisto de un par de polos por fase y por tanto cada polo está formado por un arrollamiento eléctrico bobinado alrededor de un diente polar sobresaliente hacia el interior que termina por una cara polar dispuesta frente y en la proximidad de la boquilla, estando los dientes unidos entre sí por una culata magnética periférica exterior de cierre del flujo magnético, instalación caracterizada porque cada diente polar presenta un estrechamiento lateral (un bisel por ejemplo) en el extremo de su parte sobresaliente, que aumenta la distancia que separa las caras polares entre sí.

Según una variante ventajosa, el inductor anular está constituido por dos semicoquillas articuladas pivotantes que puede cerrarse alrededor de la boquilla.

Como se habrá sin duda comprendido, la invención utiliza un campo magnético llamado "pasante", es decir que pasa por el eje de la boquilla sin debilitamiento notorio de su intensidad entre el borde y el centro de ésta.

Gracias a la base tecnológica considerada, a saber la de un par de polos por fase de alimentación eléctrica que alimenta un inductor anular polifásico con polos sobresalientes bobinados repartidos alrededor de la boquilla, el campo magnético giratorio producido es del tipo "pasantes" buscado. Dicho de otro modo, en cada instante, el eje de colada está en el centro del entrehierro del inductor y el campo producido prospera en este entrehierro pasando por el eje de colada para, desde un polo magnético dado, alcanzar el polo magnético aparejado de signo contrario situado enfrente y no a su lado como sería el caso con un inductor de polos repartidos con varios pares de polos por fase.

Se recuerda que este tipo de tecnología no es nueva en sí. Es incluso bastante ampliamente utilizada para la puesta en rotación de un metal líquido colado, no en el seno de una boquilla, sino en la lingotera misma, por tanto en el caso de inducidos que hacen girar (la columna de metal líquido) de diámetro mucho mayor aparente que el del chorro del metal en la boquilla y con una exigencia de velocidad angular de rotación correlativamente mucho menor (ver por ejemplo USP 4 462 458). Ahora bien, contrariamente a las ideas recibidas, resulta que la transferencia de esta tecnología desde la lingotera a la boquilla de colada puede, sin necesariamente permitir un descenso de potencia instalada marcado, acompañarse de una reducción de tamaño del inductor compatible con el montaje del último alrededor y más cerca de una boquilla de colada siempre que se conserve el carácter "pasante", en todos casos esencialmente "pasante", del campo

magnético producido, y esto sin perjudicar entonces su necesario enfriado.

Ahora bien, es precisamente aquí que se encuentra la idea base de la invención: llegar, sin penalizar las características del inductor, a preservar este carácter "pasante" del campo a pesar de la compacidad del inductor y la minimización del entrehierro permitiendo una ligera pérdida de masa magnética localizada en unos puntos elegidos de los polos sobresalientes, a saber los bordes de las caras activas, para contrarrestar la tendencia natural del campo magnético de propagarse en el entrehierro según los caminos menos reluctantes formando bucles entre unos polos adyacentes próximos unos a los otros.

Unas pruebas realizadas sobre acero han confirmado la capacidad de dicho inductor de poner en rotación el metal que fluye en una boquilla sumergida en las condiciones de colada mucho más severas que las que serán encontradas en las máquinas industriales de blooms o de llantones. Estas pruebas han sido efectuadas en efecto con una boquilla de tipo recto (tobera axial única que se abre en el fondo) en la cual el metal fluye a una velocidad media del orden de 3,5 a 4,2 m/s, sabiendo que en una boquilla de colada de llantones, las velocidades medias que suministran están mas bien comprendidas entre 1,5 y 2,0 m/s.

La invención será de todas maneras mejor comprendida y otros aspectos y ventajas aparecerán a la vista de la descripción que sigue dada a título de ejemplo de realización y con referencia a los planos anejos, en los cuales:

- la figura 1 es un esquema que representa, visto en sección recta, el inductor en dos semicoquillas dispuestas borde con borde provisto de su pantalla térmica interna que bordea el entrehierro;

- la figura 2 es un esquema análogo al anterior pero destinado a mostrar bien la propagación de las líneas de fuerza del campo magnético pasante en el entrehierro tales como las afigadas en un instante dado cualquiera del funcionamiento del inductor;

- la figura 3 es un esquema funcional de principio que muestra la articulación de las dos semicoquillas constitutivas del inductor;

- la figura 4 muestra el mapa de las velocidades del metal líquido que gira en el seno de la boquilla de colada bajo el efecto del campo magnético en un plano de sección recta de la boquilla;

- la figura 5 muestra la evolución de la intensidad B del campo magnético en el entrehierro a lo largo de un diámetro D de la boquilla tomado en un plano situado a media altura del inductor;

- la figura 6 muestra, en correspondencia con la representación de la figura 5, la evolución correlativa del campo de fuerzas magnéticas  $F_B$  a lo largo de un diámetro D de la boquilla según un perfil radial R y según un perfil ortoradial OR.

En las figuras, los mismo elementos están designados por referencias idénticas.

Como se ve haciendo referencia a las figuras 1 a 3 conjuntamente, el inductor 1 es un estator de motor lineal cerrado sobre sí mismo, constituido a este fin por dos partes semitubulares iguales independientes 2a y 2b, (las semicoquillas). Cada semicoquilla comprende tres polos sobresalientes bobinados 3 cuya cara polar 4 esta vuelta hacia el interior, siendo estos polos magnéticos de chapas de hierro dulce apiladas juntas, clásicamente conectados entre sí por una culata semitubular periférica externa 5a, 5b. El conjunto

está dimensionado para que las dos culatas aparejadas pasen por los extremos en el plano de unión J cuando el inductor está en posición de trabajo cerrado representada en las figuras 1 y 2.

Una calota 7a, 7b, también de forma semitubular correspondiente cubre interiormente las caras polares de cada semicoquilla y forma, una vez el inductor en posición cerrada, una pantalla de protección térmica 7 que rodea a pequeña distancia la boquilla de colada. Esta protección térmica es deseable para los arrollamientos eléctricos 3 del inductor con respecto a la radiación emitida por la boquilla de colada 8 representada en la figura 3 y que canaliza el flujo de metal en fusión hacia la lingotera. Unas precisiones sobre la constitución posible de esta pantalla se darán a continuación.

El arrollamiento eléctrico 6 de cada polo bobinado 3 está conectado a una fase de una alimentación eléctrica trifásica (no representada) destinada a proporcionar la corriente primaria del inductor. Estando el inductor en posición cerrada, un polo sobresaliente cualquiera de una de las semicoquillas 2a está diametralmente enfrentado a un polo sobresaliente de la otra semicoquilla 2b. Estos dos polos forman un "par de polos" en el sentido de que ambos están conectados a la misma fase de la alimentación eléctrica, pero en una oposición (por ejemplo a través de un sentido de bobinado diferente) de manera que, en cada instante, sus caras activas sean de signos contrarios. Esta condición es necesaria para que el campo magnético producido sea de tipo pasante.

Los polos 3 y las culata 5a, 5b de retorno del flujo magnético están laminadas en chapas Fe-Si de granos orientados de espesor inicial 0,3 mm de manera que minimicen las pérdidas de histéresis. Su altura operativa (alrededor de la cara activa 4) está comprendida entre 50 (valor mínimo) y 500 mm, función del espacio disponible entre el repartidor y la parte alta de la lingotera entre los cuales el inductor será colocado. Su diámetro interno (diámetro del entrehierro) es del orden del diámetro externo de la boquilla de colada aumentado en una decena de mm apenas para preservar una separación pero de manera que se asegura el mejor acoplamiento inductivo posible.

Los arrollamientos primarios 6 están constituidos por un gran número (varios centenares) de espiras de hilos de cobre de diámetro muy pequeño que soportan densidades de corriente elevadas ( $>10 \text{ A/mm}^2$ ). Están provistos en su seno de extractores de calor de cobre enfriados por circulación de agua (no representados).

Estos bobinados son alimentados con corrientes trifásicas de mediana frecuencia que va de 50Hz a 600 Hz. En la tecnología propuesta, se observará que funcionar a frecuencia elevada, superior 50 o 60 Hz, permite, a intensidad constante de las corrientes, aumentar el par motor que las fuerzas electromagnéticas ejercen sobre el metal que fluye por la boquilla. Sin embargo, esta opción necesita la utilización de convertidor de frecuencia contrariamente al funcionamiento de la frecuencia de la red (50 ó 60 Hz).

Como se muestra en el diagrama de la figura 5, este motor estático que constituye el inductor 1 puede generar en su entrehierro ocupado por la boquilla un campo electromagnético pasante (llamado pasante) de alta intensidad (entre 1000 y 1500 gauss) para unos valores bajos de las corrientes inductoras (algunas decenas de amperios).

Este campo, como se ve en el diagrama, es casi

uniforme en la parte central del entrehierro. Esta característica esencial de la invención permite generar en el metal líquido un campo de fuerzas uniformemente decreciente de la pared hasta el centro, como se ha representado en el diagrama de la figura 6. Esto permite, como muestra claramente también el mapa de velocidades de la figura 4, poner en rotación el metal líquido con una velocidad que parece importante incluso en la parte axial de la boquilla. Esta especificidad es necesaria para evitar una depresión demasiado grande en la parte central de la boquilla donde el metal tendría tendencia entonces a "huir" y a sufrir una fuerte aceleración vertical descendente, anulando así una parte del efecto benéfico de la puesta en rotación.

Como aparece claramente en la figura 2, es gracias a la forma estrechada de los dientes magnéticos radiales 3 en su extremo libre 4 (la caras polares) que, en cualquier momento, las líneas de fuerza del campo magnético en el entrehierro unen esencialmente los polos diametralmente opuestos y que solamente una parte residual del campo forma bucle entre polos próximos. Este resultado, indispensable para la utilización de la invención, se obtiene, a pesar de la compacidad necesaria del inductor, gracias a esta forma estrechada del extremo de los polos, que hace que a pesar de su aproximación mutua a medida que se avanza hacia el centro, la distancia que separa sus extremos libres dos a dos permanece suficiente para evitar un puenteo importante de las líneas de campo entre sí. Es esto que, en el caso del inductor compacto de pequeño tamaño, es garantía de la alta intensidad relativa del campo magnético en el eje (ver figura 5), dicho de otro modo el carácter imperativamente "pasante" de este campo sin el cual la invención no produce los efectos buscados. Como se ve en la figura 1 y más visiblemente en la figura 2, este estrechamiento de forma de los dientes radiales 3 se obtiene gracias a un prerecortado en bisel 12 de los extremos de las chapas para formarlos. El ángulo del bisel debe ajustarse en función del diámetro exterior de la boquilla a rodear. Se considera sin embargo que la cara polar 4 no debe ser, en superficie, inferior a la mitad de la sección recta del diente 3 y que el inicio del bisel de estrechamiento 12 sobre el cuerpo del diente puede iniciarse solo a dos tercios de la longitud. No es necesario iniciar antes y es incluso deseable hacerlo lo más tarde posible a fin de maximizar la masa magnética del inductor.

Alimentando al inductor por un circuito resonante, la intensidad de las corrientes primarias puede ser aumentada en gran manera. La técnica propuesta permite en efecto, en una amplia gama de la intensidad de las corrientes primarias, aumentar en gran manera la intensidad del campo electromagnético en el entrehierro, aumentando la intensidad de estas corrientes a unos valores mucho más allá de la intensidad umbral correspondiente a la saturación magnética de la culata 5. Esta permite canalizar las líneas de campo magnético y aumentar, en el entrehierro del motor, la intensidad de este campo magnético hasta que este último alcanza su valor de saturación en la culata. Más allá de este valor de umbral, es el campo magnético generado, por el inductor directamente en el aire que contribuye al aumento de la intensidad del campo en el entrehierro del motor,

En funcionamiento, el inductor está muy próximo (a 5 mm aproximadamente de distancia) de la boquilla de colada 8 cuya temperatura exterior es del orden

de 1.100 a 1.200°C. Su protección térmica, con respecto a la radiación emitida por la boquilla, está entonces asegurada por la pantalla segmentada de cobre 7, de fino espesor, enfriada por circulación de agua y transparente al campo electromagnético gracias a esta segmentación.

La constitución del inductor 1 en dos partes semitubulares independientes 5a y 5b permite fácilmente su colocación alrededor de la boquilla y su retirada en cualquier momento sin ninguna modificación del procedimiento estándar de colada. Haciendo referencia de nuevo a la figura 3, se ve que, para la colocación alrededor de la boquilla de colada 8, el inductor es ventajosamente sostenido por un soporte constituido por dos brazos 9 articulados alrededor de un eje pivotador 10. Los brazos están animados por unos gatos 11 que aseguran su cierre-apertura y permiten ejer-

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

cer una fuerza de contacto suficiente (superior a 200 kgf.) entre las culatas 5a y 5b de las dos partes semitubulares 2a y 2b una vez estas puestas extremo con extremo como muestra la figura 1. Por otra parte, un contacto estrecho entre las culatas 5a y 5b es necesario para una buena formación de bucle de las líneas de campo magnético entre las dos partes constitutivas del inductor y por tanto de buen rendimiento electromagnético. Por otra parte, una fuerza importante de cierre de los dos semitubos es necesaria para impedir las vibraciones que serían inevitablemente generadas por las fuerzas electromagnéticas oscilantes.

Desde luego que la invención no podría limitarse al ejemplo de realización descrito sino que la misma se extiende a múltiples variantes y equivalentes en la medida en que es respetada su definición dada por las reivindicaciones adjuntas.

## REIVINDICACIONES

1. Instalación de colada continua de metales, de acero en particular, en la cual la boquilla sumergida (8) por la cual el metal en fusión a colar llega a la lingotera desde un repartidor situado encima está rodeada por un inductor electromagnético anular (1) de campo magnético giratorio alrededor del eje de colada destinado a arrastrar en rotación axial con él el metal en fusión, siendo dicho inductor (1) del tipo polifásico de campo magnético pasante provisto de un par de polos (3) por fase y del que cada polo (3) está formado por un arrollamiento eléctrico bobinado (6) alrededor de un diente polar (3) sobresaliente hacia el interior y que termina por una cara polar (4) dispuesta frente a la boquilla (8), estando los dientes polares unidos entre sí por una culata magnética periférica exterior (5a, 5b) de cierre del flujo magnético, **caracterizada** porque cada diente polar (3) presenta, en el extremo de su parte sobresaliente un estrechamiento lateral (12) que aumenta la distancia que separa las caras polares (4) entre sí.

2. Instalación de colada continua según la reivin-

dicación 1, **caracterizada** porque la boquilla sumergida (8) es una boquilla con toberas de salida laterales.

3. Instalación de colada continua según la reivindicación 1, **caracterizada** porque el inductor (1) comprende en su periferia interior una pantalla de protección térmica (7) que rodea la boquilla a distancia.

4. Instalación de colada continua según la reivindicación 1, **caracterizada** porque el inductor anular (1) está formado por dos semicoquillas articuladas pivotantes (2a, 2b).

5. Instalación de colada continua según la reivindicación 1, **caracterizada** porque comprende además un circuito eléctrico resonante en el cual el inductor está montado en serie con una capacidad regulable.

6. Instalación de colada continua según la reivindicación 4, **caracterizada** porque el inductor (1) está montado en el extremo de brazos de soporte (9) de sostenimiento en posición, siendo este brazo de soporte retraible y provisto de medios mandados (11) que accionan cada semicoquilla (2a, 2b) en pivotamiento.

25

30

35

40

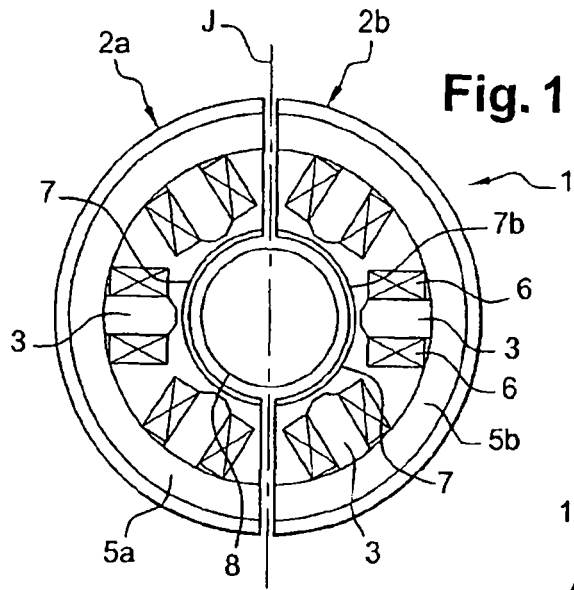
45

50

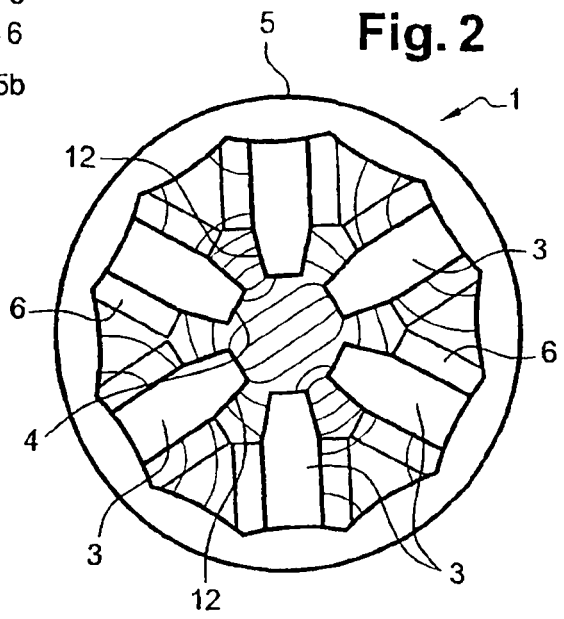
55

60

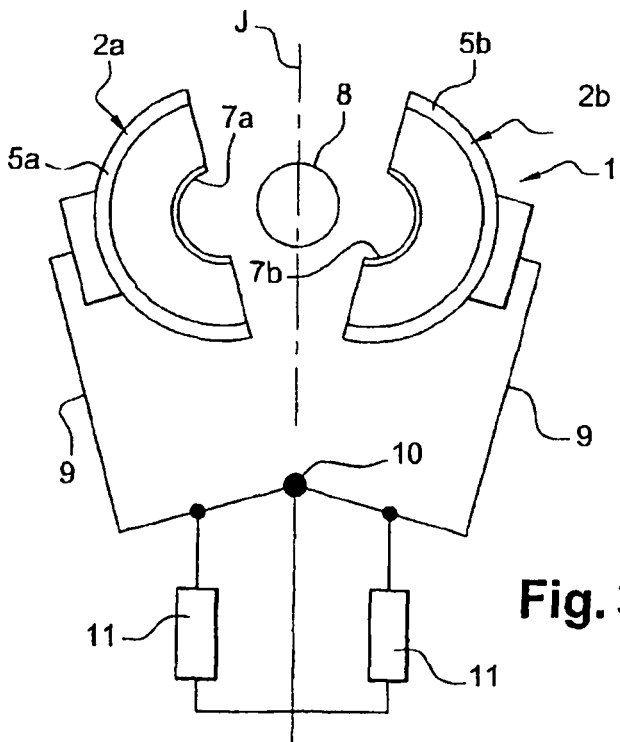
65



**Fig. 1**



**Fig. 2**



**Fig. 3**

Fig. 4

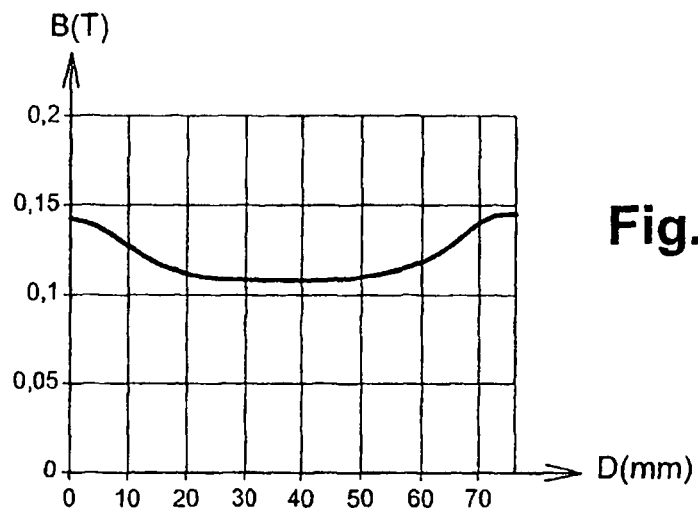
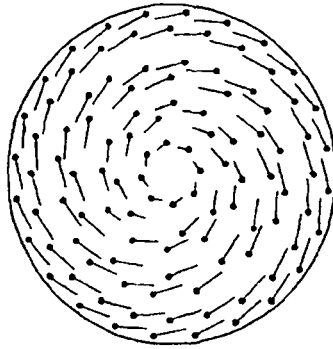


Fig. 5

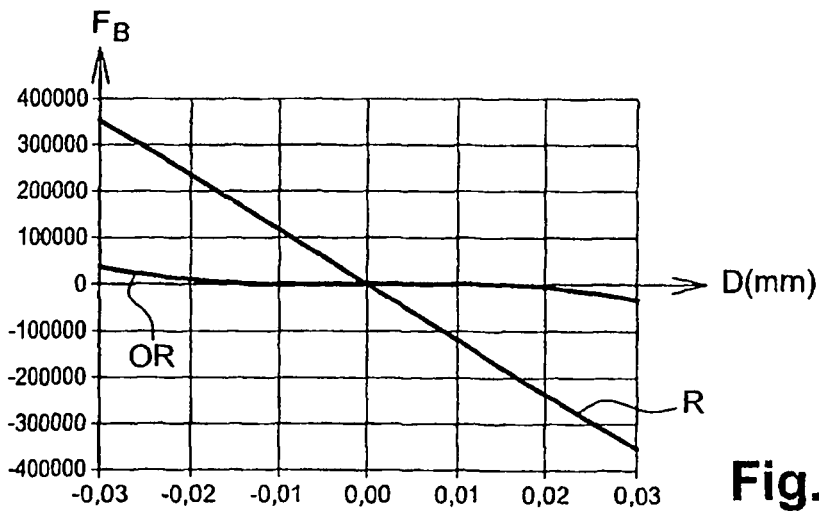


Fig. 6