

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 738 484**

51 Int. Cl.:

**B22D 11/115** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.01.2015 PCT/JP2015/052627**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.09.2015 WO15129382**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.01.2015 E 15754485 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.05.2019 EP 3112051**

54 Título: **Método de colada de acero de manera continua**

30 Prioridad:

**25.02.2014 JP 2014034130**

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

**23.01.2020**

73 Titular/es:

**NIPPON STEEL CORPORATION (100.0%)  
6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku,  
Tokyo 100-8071, JP**

72 Inventor/es:

**OKADA, NOBUHIRO**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 738 484 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

Método de colada de acero de manera continua

**Campo técnico**

5 Esta invención se refiere a un método para operar de manera óptima un agitador electromagnético dispuesto en un molde, para colar acero de manera continua.

**Antecedentes de la técnica**

10 Una de las principales causas que hacen que la calidad de una plancha superficial fabricada por colado continuo se deteriore es un defecto de agujeros de alfiler. Tal defecto de agujeros de alfiler es generado tal como por gas Ar que es soplado en una boquilla sumergida para suprimir el bloqueo de la boquilla sumergida en el colado continuo, para introducir acero fundido en un molde, y que es capturado por una corteza solidificada.

Es eficaz disponer un agitador electromagnético en un molde como método para suprimir los defectos de agujeros de alfiler. Los factores de operación de este agitador electromagnético incluyen la velocidad de flujo del acero fundido, una boquilla sumergida, una producción de acero fundido y la fuerza de Lorentz.

15 Por ejemplo, se describe que las técnicas siguientes hacen que estos factores de operación estén dentro de intervalos apropiados.

Por ejemplo, la Bibliografía de Patente 1 describe la técnica de hacer que la velocidad de flujo de la agitación electromagnética esté en un menisco de 10 a 60 cm/s a fin de disminuir la tasa de generación de defectos en una superficie de una plancha a ser obtenida.

20 La Bibliografía de Patente 2 describe la técnica de hacer que los defectos superficiales en una plancha debidos a la adhesión de burbujas de aire a una corteza solidificada estén en un cierto recuento o menor, usando parámetros tales como una distancia entre una boquilla de inmersión y un lado largo de un molde, una longitud en una dirección de colado de una abertura de descarga de acero fundido de la boquilla de inmersión, una cantidad de producción de acero fundido, y la densidad del campo magnético en una interfaz de solidificación. La Bibliografía de Patente 2 describe que la distancia entre la boquilla de inmersión y un lado largo del molde se controla cambiando la forma de la boquilla de inmersión y la forma del molde.

30 La Bibliografía de Patente 3 describe la técnica de comunicar fuerzas electromagnéticas para que el valor medio de una fuerza electromagnética en una dirección paralela a un lado mayor de un molde de colado sea 3.000 a 12.000 N/m<sup>3</sup>, el valor localizado de una fuerza electromagnética en una dirección paralela a un lado menor del molde de colado sea -2.000 a 2.000 N/m<sup>3</sup>, y el valor localizado de una fuerza electromagnética en una dirección perpendicular hacia abajo sea -1.000 a 1.000 N/m<sup>3</sup> a fin de acelerar la flotación de las burbujas de gas Ar y evitar la contaminación de polvo del molde en el acero fundido.

35 La aplicación de las técnicas descritas anteriormente en las Bibliografías de Patente 1 a 3 suprime los defectos de agujeros de alfiler hasta cierto punto. Sin embargo, los defectos de agujeros de alfiler no desaparecen completamente. Los usuarios exigen cada vez más estrictamente la calidad de las superficies de las placas de acero, lo que necesita una técnica para suprimir adicionalmente los defectos de agujeros de alfiler.

Un agitador electromagnético es un dispositivo que es el más eficaz para suprimir los defectos de agujeros de alfiler en el colado de acero de manera continua. En las técnicas descritas anteriormente en las Bibliografías de Patente 1 a 3, las fuerzas electromagnéticas generadas por los agitadores electromagnéticos y los intervalos apropiados de las velocidades de flujo del acero fundido generadas por las fuerzas electromagnéticas también se examinan en detalle.

40 Aquí, un agitador electromagnético es un dispositivo que genera la fuerza de Lorentz en acero fundido en un molde, para hacer fluir al acero fundido. Esta fuerza de Lorentz se genera solo en acero fundido que tiene conductividad, pero no se genera en lo que se llama generalmente aislantes, que tienen una conductividad extremadamente baja, tales como burbujas de aire de gas Ar.

45 Así, las burbujas de aire de gas Ar se mueven relativamente en la dirección opuesta al movimiento del acero fundido en un molde. Esto es, una fuerza electromagnética generada por un agitador electromagnético también incluye un componente negativo que reúne burbujas de aire de gas Ar en una plancha superficial como se muestra en la FIG. 8, para aumentar los defectos de agujeros de alfiler.

50 Este componente de una fuerza electromagnética, que reúne burbujas de aire de gas Ar que se incluyen en el metal fundido en una plancha superficial se llama "repulsión electromagnética" o "fuerza electromagnética de Arquímedes", que se describe en la Bibliografía No de Patente 1 en detalle. En la FIG. 8, 1 representa una superficie de la pared de un molde, 2 representa una corteza solidificada, 3 representa una interfaz de solidificación y 4 representa una burbuja de aire de gas Ar; la flecha que apunta a la parte superior desde la parte inferior de la página representa la fuerza de Lorentz, y la flecha que apunta a la parte inferior desde la parte superior de la página representa la repulsión electromagnética. La Bibliografía No de Patente 2 describe una simulación térmica de fluido a la vista de la densidad

de la fuerza de Lorentz que actúa sobre el acero fundido en el colado continuo.

El documento JP 5 310205 describe un método para controlar el flujo de acero fundido en un molde de colado, en el que se fabrica de manera estable una plancha colada con una propiedad superficial superior a la vez que se evita la contaminación de polvo de molde en el acero fundido controlando cuantitativamente la manera de formarse una fuerza electromagnética en un dispositivo de agitación electromagnético, y acelerando de este modo más eficazmente la flotación de las burbujas de argón.

El documento JP 2006 082092 describe un método para llevar a cabo apropiadamente el control del flujo de acero fundido seleccionando apropiadamente la frecuencia del campo magnético en movimiento según las condiciones de colado cuando se lleva a cabo el colado continuo, a la vez que se controla el flujo de acero fundido en un molde de colado aplicando la fuerza electromagnética causada por el campo magnético en movimiento al flujo descargado de una boquilla sumergida.

**Lista de citas**

Bibliografía de Patentes

Bibliografía de Patente 1: JP H6-605A

Bibliografía de Patente 2: JP 2007-216288A

Bibliografía de Patente 3: JP 2010-240687A

Bibliografía No de Patente

Bibliografía No de Patente 1: Tetsu-to-hagané, Vol. 83 (1997), N° 1, págs. 30-35

Bibliografía No de Patente 2: K. Takatani: ISIJ International, Vol. 43, 2003, N° 6, págs. 915-922

**Compendio de la invención**

Problema técnico

Un problema para solucionar por esta invención es que, en las técnicas convencionales, no hay ningún concepto para determinar las condiciones preferibles para la agitación electromagnética, centrándose en la repulsión electromagnética generada por un agitador electromagnético, en la agitación electromagnética de acero fundido en un molde tras colar acero de manera continua.

Solución al problema

Un objeto de la presente invención es determinar la mejor frecuencia de corriente de un agitador magnético para hacer que la repulsión magnética generada tras la agitación electromagnética de acero fundido en un molde sea tan baja como sea posible, para suprimir adicionalmente los defectos de agujeros de alfiler.

La presente invención se hizo en base a los resultados del estudio del inventor descrito a continuación, y su característica principal es: en el colado de acero de manera continua usando un molde y un agitador electromagnético, estando el molde equipado con el agitador electromagnético, obtener una relación entre la densidad de la fuerza de Lorentz efectiva  $F$  ( $N/m^3$ ) que se calcula mediante la siguiente fórmula, y la frecuencia de corriente (Hz) del agitador electromagnético, y usar la frecuencia de corriente del agitador electromagnético de tal modo que la densidad de la fuerza de Lorentz efectiva  $F$  esté dentro de un intervalo de  $F_{max}$  a  $0,9 F_{max}$ , en donde  $F_{max}$  es un valor máximo de la densidad de la fuerza de Lorentz efectiva  $F$ , en donde  $F = L_x - \alpha \cdot L_y$ , y en esta fórmula,  $L_x$  ( $N/m^3$ ) es un valor medio de componentes de la densidad de la fuerza de Lorentz en una dirección paralela a un lado largo del molde dentro de la existencia de un núcleo de hierro, siendo el núcleo de hierro un componente del agitador electromagnético,  $L_y$  ( $N/m^3$ ) es un valor medio de componentes de la densidad de la fuerza de Lorentz en una dirección paralela a un lado corto del molde dentro de la existencia de un núcleo de hierro, y  $\alpha$  es un coeficiente que indica la mala influencia de la repulsión electromagnética y está dentro del intervalo de 3 a 7.

En la presente invención descrita anteriormente, se determina la mejor frecuencia de corriente del agitador electromagnético para hacer que la repulsión electromagnética generada tras la agitación electromagnética del acero fundido en el molde sea tan baja como sea posible. Por tanto, puede suprimirse tanto como sea posible que se congreguen burbujas de aire de gas Ar en una plancha superficial.

Efectos ventajosos de la invención

Según la presente invención, los defectos de agujeros de alfiler pueden ser suprimidos adicionalmente en comparación con los métodos para colar acero de manera continua que usan técnicas convencionales, porque puede suprimirse tanto como sea posible que se congreguen burbujas de aire de gas Ar en la plancha superficial.

**Breve descripción de los dibujos**

La FIG. 1 es una vista para explicar un molde y un agitador electromagnético usados en el método para colar acero de manera continua de la presente invención, visto desde la parte superior del molde.

5 La FIG. 2 muestra la distribución de la densidad de la fuerza de Lorentz en la posición central de un núcleo de hierro en una dirección de estiramiento de la plancha, obtenida por simulación numérica.

La FIG. 3 muestra la relación entre los valores medios  $L_x$  de componentes de densidad de la fuerza de Lorentz en la dirección paralela a un lado largo del molde dentro de la existencia del núcleo de hierro del agitador electromagnético, y las frecuencias de corriente.

10 La FIG. 4 muestra la relación entre los valores medios  $L_y$  de componentes de densidad de la fuerza de Lorentz en la dirección paralela a un lado corto del molde dentro de la existencia del núcleo de hierro del agitador electromagnético, y las frecuencias de corriente.

La FIG. 5 muestra la relación entre  $L_y/L_x$  y las frecuencias de corriente.

La FIG. 6 muestra los hallazgos del cambio en el número de agujeros de alfiler por unidad de área (número/m<sup>2</sup>) en una interfaz de solidificación según las frecuencias de corriente, en base a análisis numéricos.

15 La FIG. 7 muestra la dependencia de la frecuencia de la densidad de la fuerza de Lorentz efectiva  $F$  en un caso donde un coeficiente  $\alpha$  que indica mala influencia de la repulsión electromagnética es 5.

La FIG. 8 es una vista para explicar la repulsión electromagnética.

**Descripción de realizaciones**

20 La presente invención realiza el objeto de determinar la mejor frecuencia de corriente de un agitador electromagnético para hacer que la repulsión electromagnética generada tras la agitación electromagnética de acero fundido en un molde sea tan baja como sea posible, para suprimir adicionalmente los defectos de agujeros de alfiler.

Tras operar una máquina de colado continuo donde un molde está equipado con un agitador electromagnético, el inventor encontró como resultado de su estudio específico sobre la repulsión electromagnética generada en el molde que los defectos de agujeros de alfiler pueden ser reducidos suprimiendo la repulsión electromagnética.

25 Después, como resultado del estudio adicional de inventor sobre un método para aplicar una fuerza electromagnética que suprime la repulsión electromagnética para mantener las burbujas de gas Ar lejos de las proximidades de una interfaz de solidificación, resultó que existe una frecuencia de corriente apropiada tras aplicar la fuerza electromagnética.

30 El molde y el agitador electromagnético usados en los estudios anteriores son los mismos que los descritos en la Bibliografía de Patente 3, que tienen formas y polaridades habituales como se muestra en la FIG. 1 cuando el molde se ve desde la parte superior. En la FIG. 1, 11 representa un molde de cobre (en lo sucesivo puede denominarse molde), 12 representa una boquilla sumergida, 13 representa un agitador electromagnético, 13a representa un núcleo de hierro que constituye el agitador electromagnético 13, 13aa representa una parte dentada formada sobre el núcleo 13 de hierro, y 13b representa una espiral que está enrollada alrededor de la circunferencia externa del núcleo 13a de hierro.

La FIG. 2 muestra la distribución de la densidad de la fuerza de Lorentz en la posición central del núcleo de hierro en una dirección de estiramiento de la plancha, obtenida por simulación numérica. Aquí, la densidad de la fuerza de Lorentz representa una fuerza electromagnética por unidad de volumen de acero fundido (N/m<sup>3</sup>).

40 La distribución de la densidad de la fuerza de Lorentz mostrada en la FIG. 2 resultó de la simulación numérica bajo las condiciones donde el tamaño de una plancha fue 1.200 mm de ancho x 250 mm de espesor, una placa de cobre que formaba el molde fue de 25 mm de espesor, y la conductividad del molde fue  $1,9 \times 10^7$  S/m.

La distribución de la densidad de la fuerza de Lorentz mostrada en la FIG. 2 es la distribución de agitar el acero fundido en el molde en el sentido contrario a las agujas del reloj. La fuerza de Lorentz grande a lo largo de la dirección de un lado largo del molde 11 se genera en las proximidades de la superficie de la pared del molde 11.

45 Como es claro a partir de la FIG. 2, la fuerza de Lorentz descrita anteriormente a lo largo de la superficie de la pared del molde también incluye muchos componentes dirigidos hacia el interior del molde. Tal tipo de la fuerza de Lorentz dirigida hacia el interior del molde funciona como repulsión electromagnética dirigida hacia la superficie de la pared del molde para las burbujas de gas Ar. Esto es, la repulsión electromagnética transmite las burbujas de gas Ar a las proximidades de la interfaz de una corteza solidificada, y los defectos de agujeros de alfiler son aumentados.

50 La distribución de la densidad de la fuerza de Lorentz no cambia ni siquiera si un valor de corriente del EMS (Agitador Electro-Magnético) se hace más grande. Esto es, en un caso donde se hace que el valor de corriente de un agitador

electromagnético sea más grande, para aumentar la velocidad de flujo, el efecto de suprimir los defectos de agujeros de alfiler puede ser obtenido mediante un efecto de limpieza sobre los agujeros de alfiler capturados por la interfaz de una corteza solidificada; por otra parte, la repulsión electromagnética hace que las burbujas de gas Ar que se mueven hacia la interfaz de la corteza solidificada aumenten, y por tanto, los defectos de agujeros de alfiler aumentan.

- 5 Como resultado del estudio del inventor, fue muy eficaz para reducir los componentes de la fuerza de Lorentz dirigidos hacia el interior del molde cambiar la frecuencia de corriente del agitador electromagnético, como se describe más adelante.

10 La FIG. 3 muestra la relación entre los valores  $L_x$  medios ( $N/m^3$ ) de los componentes de la densidad de la fuerza de Lorentz en la dirección paralela a un lado largo del molde dentro de la existencia del núcleo de hierro del agitador electromagnético, y las frecuencias de corriente (Hz). Los valores  $L_x$  descritos anteriormente en la dirección paralela a un lado largo del molde se calcularon suponiendo que la fuerza de Lorentz en la dirección igual que la revolución del acero fundido debido a la agitación electromagnética fue positiva y la fuerza de Lorentz en la dirección opuesta a la misma fue negativa.

15 Específicamente, los valores  $L_x$  se calcularon suponiendo que la densidad de la fuerza de Lorentz en la dirección izquierda en la página de la FIG. 2 fue positiva y la densidad de la fuerza de Lorentz en la dirección derecha en la misma fue negativa en el área de la página más arriba que el centro de un lado corto del molde; y la densidad de la fuerza de Lorentz en la dirección derecha en la página fue positiva y la densidad de la fuerza de Lorentz en la dirección izquierda en la página fue negativa en el área de la página más abajo que el centro de un lado corto del molde.

20 Según la FIG. 3, el máximo del valor  $L_x$  descrito anteriormente en la dirección paralela a un lado largo del molde existe en el intervalo de 2,3 a 2,5 Hz en frecuencia de corriente; y la frecuencia de corriente debe seleccionarse fuera de este intervalo de 2,3 a 2,5 Hz para hacer que la velocidad de flujo de agitación sea máxima.

25 La FIG. 4 muestra la relación entre los valores  $L_y$  medios ( $N/m^3$ ) de los componentes de la densidad de la fuerza de Lorentz en la dirección paralela a un lado corto del molde dentro de la existencia del núcleo de hierro descrito anteriormente, y las frecuencias de corriente (Hz). Los valores  $L_y$  descritos anteriormente en la dirección paralela a un lado corto del molde se calcularon suponiendo que la densidad de la fuerza de Lorentz dirigida hacia el interior del molde fue positiva y la densidad de la fuerza de Lorentz dirigida hacia el exterior del molde fue negativa.

30 Específicamente, los valores  $L_y$  se calcularon suponiendo que la densidad de la fuerza de Lorentz hacia abajo que estaba saliendo de la superficie de la pared en un lado largo del molde fue positiva en el área de la página de la FIG. 2 más arriba que el centro de un lado corto del molde, y la densidad de la fuerza de Lorentz que estaba saliendo de la superficie de la pared en un lado largo del molde fue positiva en el área de la página más abajo que el centro de un lado corto del molde.

35 Esto es, el valor  $L_y$  descrito anteriormente en la dirección paralela a un lado corto del molde representa un componente de la densidad de la fuerza de Lorentz que hace que el acero fundido en el molde se mueva desde la superficie de la pared en un lado largo del molde hacia el centro de un lado corto, y representa la repulsión electromagnética que hace que las burbujas de gas Ar se muevan hacia la superficie de la pared del molde. Como es claro a partir de la FIG. 4, cuando la frecuencia de corriente del agitador electromagnético es alta, el valor  $L_y$  descrito anteriormente en la dirección paralela a un lado corto del molde se hace grande.

40 La FIG. 5 muestra la relación  $L_y/L_x$  del valor  $L_y$  descrito anteriormente en la dirección paralela a un lado corto del molde al valor  $L_x$  descrito anteriormente en la dirección paralela a un lado largo del molde. Como se ve a partir de la FIG. 5, cuando el valor de  $L_y/L_x$  es pequeño, el componente de repulsión electromagnética en la densidad de la fuerza de Lorentz generada en el acero fundido en el molde es pequeño.

45 Como se ve a partir de las FIGS. 4 y 5, es eficaz para reducir la repulsión electromagnética disminuir la frecuencia de corriente. Como se ve a partir de la FIG. 3, es necesario para asegurar la velocidad de flujo de agitación que se origina de la agitación electromagnética hacer que el valor  $L_x$  descrito anteriormente en la dirección paralela a un lado largo del molde sea un cierto valor o más. Como resultado del examen sobre simulación de fluidos, que se describe más adelante, se confirmó que la fuerza de Lorentz no fue suficiente en un caso donde la frecuencia de corriente fue 0,4 Hz o menos.

50 Según lo anterior, se supuso que debe existir la frecuencia de corriente óptima entre la frecuencia de corriente donde el valor  $L_x$  descrito anteriormente en la dirección paralela a un lado largo del molde fue máximo y la frecuencia de corriente donde la agitación electromagnética fue inapropiada. Se examinó una simulación numérica sobre campos electromagnéticos y fluido para obtener esta frecuencia de corriente óptima.

55 La simulación del campo electromagnético se llevó a cabo calculando la distribución de la densidad de la fuerza de Lorentz generada en el acero fundido por el agitador electromagnético según el método descrito anteriormente. La simulación de fluido se llevó a cabo usando la densidad de la fuerza de Lorentz obtenida, para evaluar el número de burbujas de gas Ar capturadas por la corteza solidificada. La simulación de fluido térmica se llevó a cabo según el método descrito en la Bibliografía No de Patente 2, para calcular un flujo del acero fundido, transmisión de calor, solidificación y burbujas de gas Ar.

La simulación de fluido térmica según el método descrito en la Bibliografía No de Patente 2 hace posible obtener información sobre la velocidad de flujo, la velocidad de la solidificación, la distribución de burbujas de gas Ar, etcétera, en el acero fundido en la máquina de colado continuo. Por tanto, el problema era cómo se evaluaban las burbujas de gas Ar capturadas por la corteza solidificada.

5 Como se describe en la Bibliografía de Patente 1, se sabe que las burbujas de gas Ar no son capturadas por la corteza solidificada si la velocidad de flujo del acero fundido en la interfaz de solidificación es 10 a 60 cm/s. Esto es, el cálculo puede llevarse a cabo suponiendo que en un caso donde la velocidad de flujo del acero fundido en la interfaz de solidificación es la velocidad de flujo donde las burbujas de gas Ar son capturadas (denominada en lo sucesivo velocidad de flujo de captura) o inferior, las burbujas de gas Ar que existen en esta ubicación son capturadas.

10 Hablando en términos generales, un umbral de la velocidad de flujo de captura anterior es 20 cm/s. Sin embargo, el valor exacto se desconoce. Además, se considera que no es natural que tal cálculo se lleve a cabo suponiendo que cuando la velocidad de flujo del acero fundido es 19,9 cm/s, las burbujas de gas Ar no son capturadas por la corteza solidificada y cuando la velocidad de flujo del mismo es 20,1 cm/s las burbujas son capturadas por la misma.

15 Por tanto, el inventor inventó un método para evaluar la probabilidad de que las burbujas de gas Ar sean capturadas por la corteza solidificada como una función continua representada por la siguiente fórmula (1). Aquí,  $P_g(-)$  es la probabilidad de que las burbujas de gas Ar sean capturadas por la corteza solidificada,  $C_0$  es un número fijo, y  $U$  (m/s) es la velocidad de flujo del acero fundido en la interfaz de solidificación.

20 En un caso donde el número fijo  $C_0$  en la siguiente fórmula (1) es 100, la probabilidad de captura  $P_g$  cuando la velocidad de flujo del acero fundido es 20 cm/s es no más que  $10^{-8}$ . Esta es una probabilidad tal que una de un millón de burbujas de gas Ar es capturada por la corteza solidificada, y este valor de la probabilidad se considera que es 0 en simulación numérica. Se apunta que cualquiera de 10 a 1.000 es un valor apropiado para el  $C_0$  usado en simulaciones numéricas.

[Matemát. 1]

$$P_g = \exp(-C_0 \cdot U) \quad \dots \text{Fórmula (1)}$$

25 La velocidad  $\eta_g$  (número/m<sup>3</sup>·s) donde las burbujas de gas Ar son capturadas por la corteza solidificada se representa como la siguiente fórmula (2), con la densidad numérica  $n_g$  (número/m<sup>3</sup>) de burbujas de gas Ar en la interfaz de solidificación, la velocidad de solidificación  $R_s$  (1/s) y la probabilidad de captura  $P_g(-)$ .

[Matemát. 2]

$$\eta_g = n_g \cdot R_s \cdot P_g \quad \dots \text{Fórmula (2)}$$

30 La densidad numérica de burbujas de gas Ar en la corteza solidificada  $S_g$  (número/m<sup>3</sup>) se calcula a partir de la siguiente fórmula (3). Aquí,  $U_s$  es la velocidad de movimiento (m/s) de la corteza solidificada en la dirección de estiramiento de la plancha.

[Matemát. 3]

$$\frac{\partial S_g}{\partial t} + \nabla \cdot (U_s S_g) = \eta_g \quad \dots \text{Fórmula (3)}$$

35 La densidad numérica  $S_g$  (número/m<sup>3</sup>) de las burbujas de gas Ar en la corteza solidificada obtenida a partir de la fórmula (3) anterior se promedió respecto al tiempo, para evaluar el número de burbujas de gas Ar. En este momento, se consideró que la velocidad de flujo de captura varió de manera natural según los diámetros de las burbujas de gas Ar, pero la relación entre los mismos se desconoce. Después, el examen se llevó a cabo bajo la condición donde cada burbuja de gas Ar que existe principalmente en el molde de la máquina de colado continuo es de 1 mm de diámetro. La evaluación se llevó a cabo dentro del intervalo de 2 mm desde la plancha superficial, como un intervalo donde las burbujas de gas Ar de 1 mm de diámetro influyeron sobre la superficie de la plancha.

40 La FIG. 6 muestra los resultados de examinar la relación entre la frecuencia de corriente y el número de agujeros de alfiler por unidad de área (número/m<sup>2</sup>) en la interfaz de solidificación, en base al análisis numérico.

45 Se hace claro a partir de la FIG. 6 que el número de agujeros de alfiler en un caso donde la frecuencia de corriente es 1,2 Hz es menor que un caso donde la frecuencia de corriente es 2,3 Hz, donde la densidad de la fuerza de Lorentz es la máxima; y el número de agujeros de alfiler aumenta en gran medida cuando la frecuencia de corriente es 0,8 Hz e inferior.

50 La razón por la que el número de agujeros de alfiler por unidad de área en la interfaz de solidificación es la mínima, 43 (número/m<sup>2</sup>) en un caso donde la frecuencia de corriente es 1,2 Hz es que, aunque la densidad de la fuerza de Lorentz disminuye debido a la agitación electromagnética, la disminución de la repulsión electromagnética produce un gran efecto de disminución de burbujas de gas Ar cerca de la superficie de la pared del molde. Sin embargo, los

agujeros de alfiler aumentan según disminuye la frecuencia de corriente a 1,2 Hz e inferior, porque la densidad de la fuerza de Lorentz para agitar el acero fundido en el molde no es suficiente.

De manera general, la frecuencia de corriente donde la densidad de la fuerza de Lorentz es la máxima se selecciona para la frecuencia de corriente de un agitador electromagnético. En el agitador electromagnético mostrado en la FIG. 1, la frecuencia de corriente donde la densidad de la fuerza de Lorentz es la máxima es 2,3 Hz, lo que se lee en la FIG. 3. El número de agujeros de alfiler en un caso donde la frecuencia de corriente es 2,3 Hz, que se selecciona según técnicas anteriores, es 57 (número/m<sup>2</sup>) como se muestra en la FIG. 6. Por tanto, como se ve a partir de la FIG. 6, los defectos de agujeros de alfiler pueden ser suprimidos más que en las técnicas anteriores en cualquier frecuencia de corriente dentro del intervalo de 0,9 Hz a 2,3 Hz.

Por lo tanto, el inventor obtuvo el conocimiento en las condiciones donde el tamaño de la plancha fue de 1.200 mm de ancho x 250 mm de espesor, el molde de cobre fue de 25 mm de espesor, y la conductividad del molde de cobre fue  $1,9 \times 10^7$  S/m, el intervalo apropiado de la frecuencia donde el número de agujeros de alfiler puede ser suprimido más que en las técnicas convencionales fue 0,9 a 2,3 Hz.

Hace falta un tiempo relativamente largo para llevar a cabo tal análisis de fluidos para evaluar los agujeros de alfiler en comparación con el análisis del campo electromagnético. Por tanto, el inventor estudió un método para seleccionar la frecuencia óptima a partir del resultado del análisis del campo electromagnético.

La fuerza de Lorentz  $L_x$  (N/m<sup>3</sup>) necesaria para la agitación electromagnética funciona como un factor positivo para el número de agujeros de alfiler, y la repulsión electromagnética  $L_y$  (N/m<sup>3</sup>) funciona como un factor negativo para el mismo. Por lo tanto, la densidad de la fuerza de Lorentz efectiva (N/m<sup>3</sup>) se define como representa la siguiente fórmula (4). Aquí,  $\alpha$  es un coeficiente que indica la mala influencia de la repulsión electromagnética.

[Matemát. 4]

$$F = L_x - \alpha \cdot L_y \quad \dots \text{Fórmula (4)}$$

Dado que el  $\alpha$  descrito anteriormente es un coeficiente que indica la mala influencia en la dirección paralela a un lado corto del molde, esta influencia varía según la longitud de un lado corto del molde. El inventor examinó  $\alpha$  con el que la evaluación usando la fórmula (4) anterior fue equivalente a la mostrada en la FIG. 6 con respecto a 200 mm a 300 mm de un lado corto del molde de longitud como máquina de colado continuo habitual. Como resultado, el inventor obtuvo el conocimiento de que  $\alpha$  en el intervalo de 3 a 7 es apropiado. En un caso donde  $\alpha$  es menos que 3, la fuerza de Lorentz paralela a un lado corto del molde es infraestimada, y en un caso donde  $\alpha$  está más allá de 7, la fuerza de Lorentz paralela a un lado corto del molde es sobreestimada.

La FIG. 7 muestra la dependencia de la frecuencia de la densidad de la fuerza de Lorentz efectiva  $F$  (N/m<sup>3</sup>) en un caso donde el coeficiente  $\alpha$  que indica la mala influencia de la repulsión electromagnética es 5. Se ve a partir de la FIG. 7 que la densidad de la fuerza de Lorentz efectiva  $F$  (N/m<sup>3</sup>) toma el valor máximo en un caso donde la frecuencia de corriente es 1,2 Hz.

A la vista de las FIGS. 3 a 6, los defectos de agujeros de alfiler pueden ser suprimidos más que en las técnicas convencionales en un caso donde la frecuencia de corriente está dentro del intervalo de 0,9 Hz a 2,3 Hz. Este intervalo corresponde a un intervalo del valor máximo  $F_{\max}$  a  $0,9 F_{\max}$  de la densidad de la fuerza de Lorentz efectiva  $F$  (la frecuencia de corriente está en el intervalo de 0,9 a 2,0 Hz). Como se describió anteriormente, usar la fórmula (4) anterior hace posible determinar la mejor frecuencia del agitador electromagnético solo con el resultado del análisis del campo electromagnético.

La presente invención se hizo en base a los resultados de los estudios del inventor anteriores, y es un método para colar acero de manera continua usando un molde y un agitador electromagnético, estando equipado el molde con el agitador electromagnético, comprendiendo el método: obtener una relación entre la densidad de la fuerza de Lorentz efectiva  $F$  (N/m<sup>3</sup>) que se calcula mediante la Fórmula (4) descrita anteriormente, y la frecuencia de corriente (Hz) del agitador electromagnético, y usar la frecuencia de corriente del agitador electromagnético de tal modo que la densidad de la fuerza de Lorentz efectiva  $F$  esté dentro de un intervalo de  $F_{\max}$  a  $0,9 F_{\max}$ , en donde  $F_{\max}$  es un valor máximo de la densidad de la fuerza de Lorentz efectiva  $F$ , en donde  $L_x$  (N/m<sup>3</sup>) es un valor medio de los componentes de la densidad de la fuerza de Lorentz en una dirección paralela a un lado largo del molde dentro de la existencia de un núcleo de hierro, siendo el núcleo de hierro un componente del agitador electromagnético, y  $L_y$  (N/m<sup>3</sup>) es un valor medio de los componentes de la densidad de la fuerza de Lorentz en una dirección paralela a un lado corto del molde dentro de la existencia del núcleo de hierro.

Según la presente invención descrita anteriormente, la mejor frecuencia de corriente del agitador electromagnético, donde la repulsión electromagnética generada cuando se lleva a cabo la agitación electromagnética en el acero fundido en el molde puede hacerse tan pequeña como sea posible, puede ser determinada solo a partir del resultado del análisis electromagnético. Por lo tanto, puede ser suprimido tanto como sea posible que se congreguen burbujas de gas Ar en la plancha superficial, y los defectos de agujeros de alfiler pueden ser suprimidos adicionalmente.

Aunque el inventor llevó a cabo una simulación de fluidos con el método descrito en la Bibliografía No de Patente 2,

no es necesario decir que la simulación térmica de fluidos puede llevarse a cabo no solo con el método descrito en la Bibliografía No de Patente 2, sino también con otro método.

**Lista de signos de referencia**

- 11 ... molde
- 5 13 ... agitador electromagnético
- 13a ... núcleo de hierro

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para colar acero de manera continua usando un molde (11) y un agitador (13) electromagnético, estando el molde (11) equipado con el agitador (13) electromagnético, método que comprende:

5 obtener una relación entre la densidad de la fuerza de Lorentz efectiva  $F$  ( $N/m^3$ ) que se calcula mediante la siguiente fórmula, y la frecuencia de corriente (Hz) del agitador (13) electromagnético; y

usar la frecuencia de corriente del agitador (13) electromagnético de tal modo que la densidad de la fuerza de Lorentz efectiva  $F$  esté dentro de un intervalo de  $F_{max}$  a  $0,9 F_{max}$ , en donde  $F_{max}$  es un valor máximo de la densidad de la fuerza de Lorentz efectiva  $F$ ,

en donde

10 
$$F = Lx - \alpha \cdot Ly,$$

en donde  $Lx$  ( $N/m^3$ ) es un valor medio de los componentes de la densidad de la fuerza de Lorentz en una dirección paralela a un lado largo del molde (11) dentro de la existencia de un núcleo (13a) de hierro, siendo el núcleo (13a) de hierro un componente del agitador (13) electromagnético;

15  $Ly$  ( $N/m^3$ ) es un valor medio de los componentes de la densidad de la fuerza de Lorentz en una dirección paralela a un lado corto del molde (11) dentro de la existencia del núcleo (13a) de hierro; y

$\alpha$  es un coeficiente que indica la mala influencia de la repulsión electromagnética, en donde  $\alpha$  está dentro del intervalo de 3 a 7.



FIG. 2

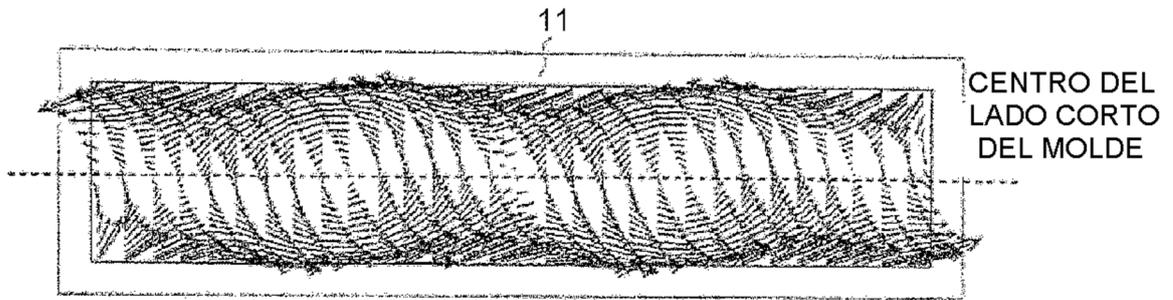


FIG. 3

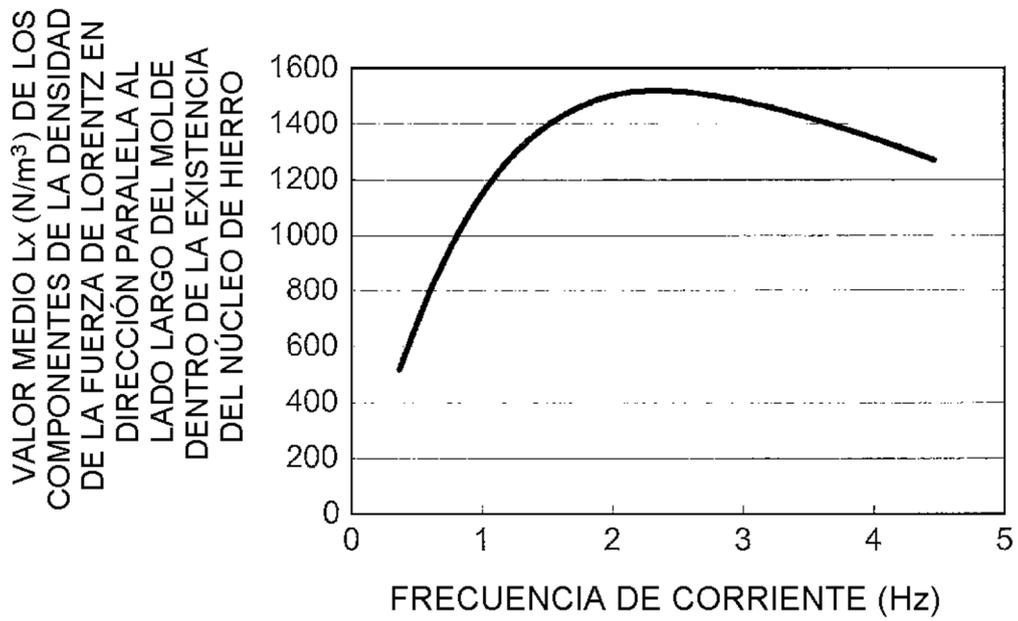


FIG. 4

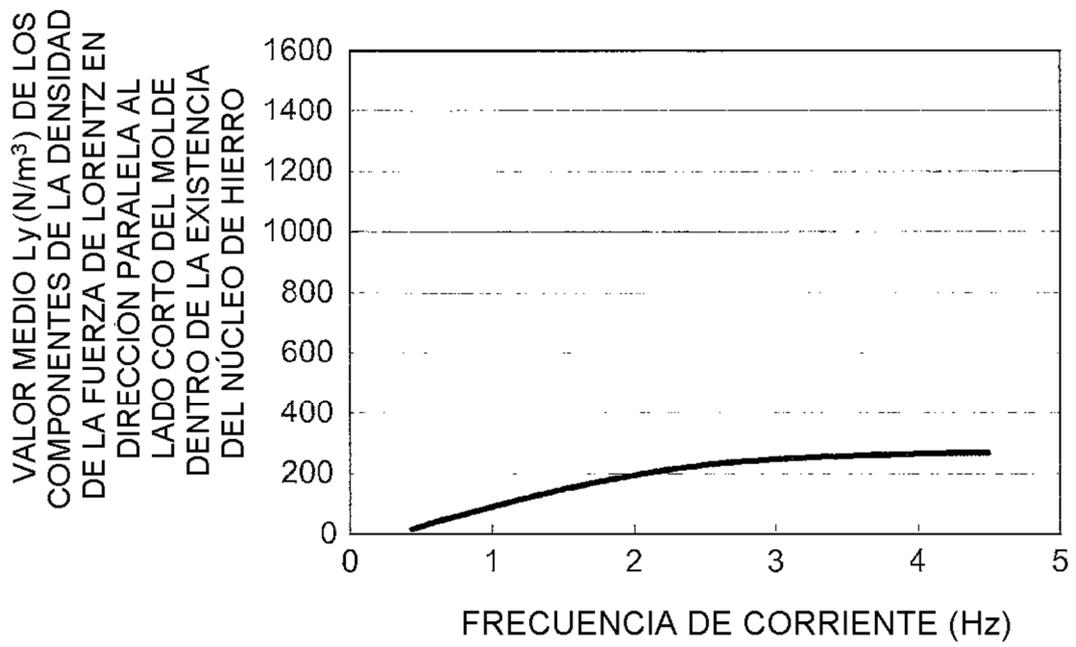


FIG. 5

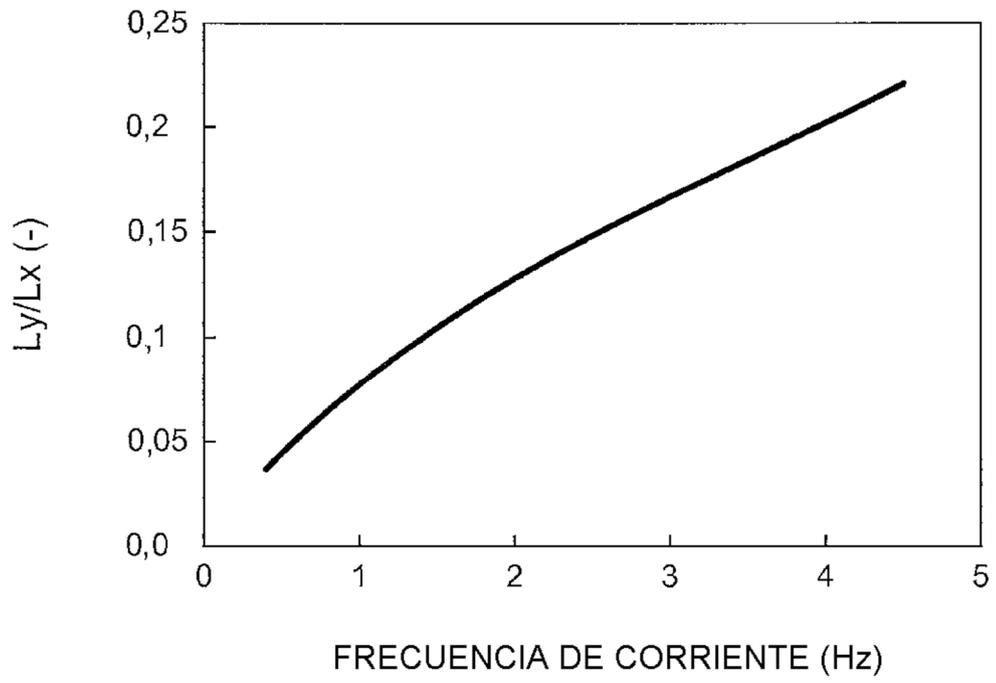


FIG. 6

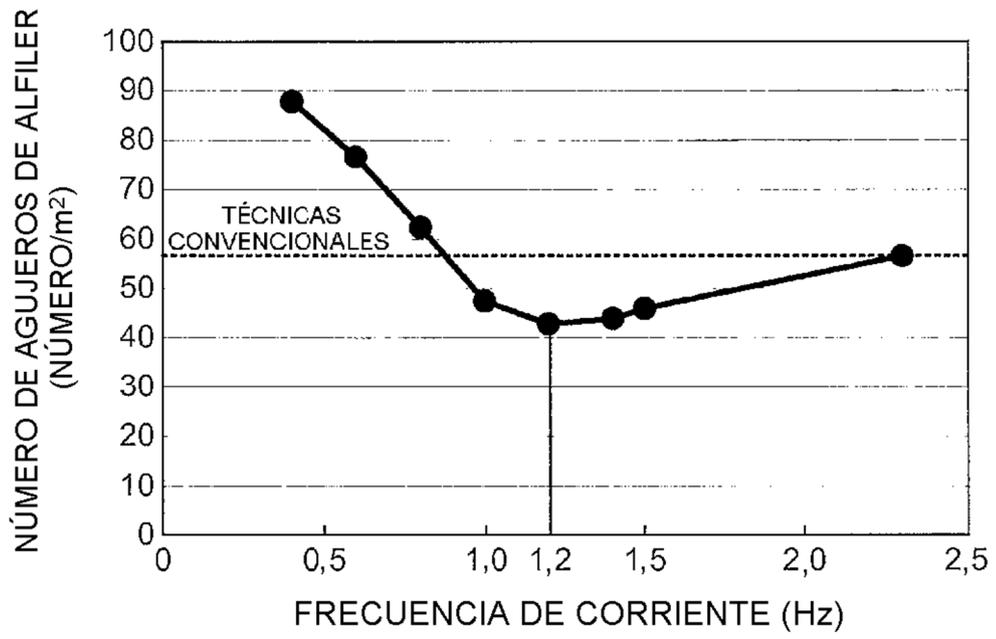


Fig. 7

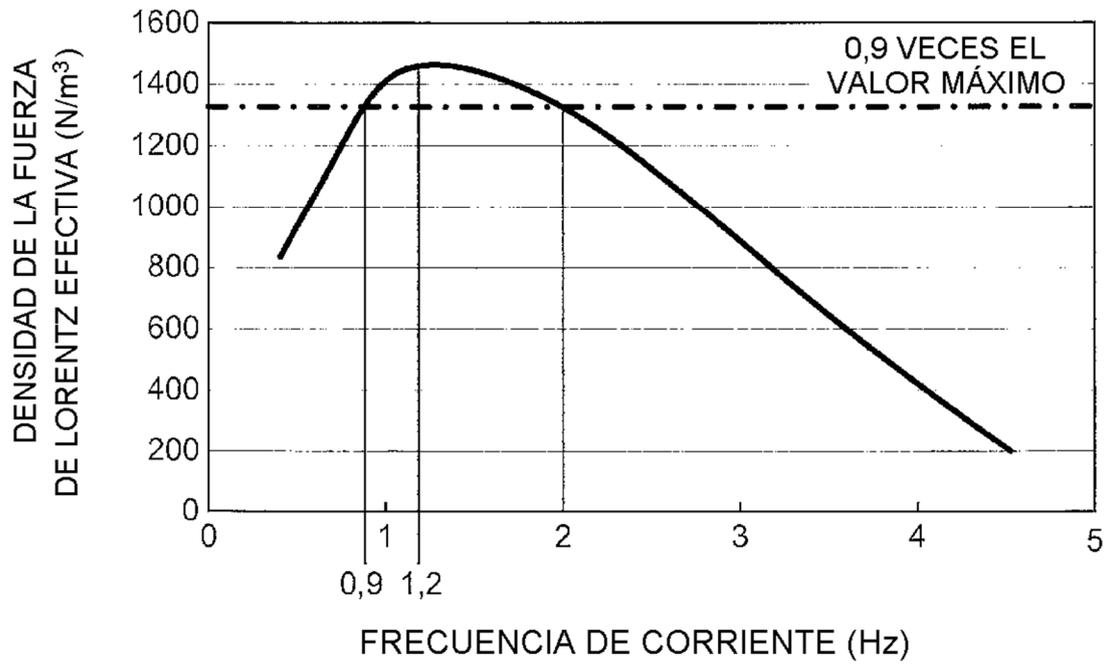


FIG. 8

