

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 702 700**

51 Int. Cl.:

B22D 11/128 (2006.01)

B22D 11/16 (2006.01)

B22D 11/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.10.2009 PCT/JP2009/068462**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.07.2010 WO10073813**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.10.2009 E 09834617 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.10.2018 EP 2371468**

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

30 Prioridad:

25.12.2008 JP 2008330188

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

05.03.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**HIRAKI SEI;
NOGAMI HIROSHI;
MURAKAMI TOSHIHIKO;
YAMANAKA AKIHIRO;
TAKATANI KOUJI;
SATOY YASUHIRO y
ITOU YOSHIKI**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 702 700 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 continua de acero

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un método de colada continua de acero que moldea a la vez que provoca una vibración en un planchón impactando en una superficie específica del planchón en un estado que contiene un núcleo líquido.

10

Antecedentes de la técnica

Los defectos interiores que son la segregación macro, llamados segregación central, segregación en forma de V o segregación en forma de V inversa, se forman fácilmente en la parte central en la dirección de espesor y en la proximidad de la misma para el planchón que se moldea mediante una colada continua. La segregación central es un defecto interior que aparece debido a los elementos de soluto que se segregan fácilmente (en lo sucesivo en el presente documento denominados como "elementos de segregación"), tales como C, S, P y Mn, que se enriquecen en el extremo del cráter líquido de un planchón y la segregación en forma de V y la segregación en forma de V inversa son defectos interiores que aparecen debido a estos elementos de segregación que se enriquecen en la proximidad del extremo de cráter líquido del planchón en forma de V o en forma de V inversa.

15

20

En un producto que se fabrica mediante un procesamiento caliente tal como un planchón que incluye estas segregaciones macro, se producen fácilmente una disminución de la tenacidad, una fisuración inducida por el hidrógeno, y similares, y, además, se produce una fisuración fácilmente cuando al producir un producto final laminando en frío tal producto.

25

El mecanismo de formación de la segregación en un planchón se considera que es de la siguiente manera. Específicamente, a medida que avanza la solidificación, los elementos de segregación se enriquecen entre los brazos de dendrita de la dendrita columnar, que son una estructura de solidificación. El acero fundido en el que se han enriquecido estos elementos de segregación (en lo sucesivo en el presente documento denominado también como "acero fundido enriquecido en soluto") rebosa entre los brazos de dendrita de la dendrita columnar debido a la cantidad de contracción de solidificación durante la solidificación, la dilatación del planchón llamada abombado, o similares. El acero fundido enriquecido en soluto que rebosa de este modo fluye hacia el extremo de cráter líquido del planchón para solidificarse en una condición como está, formando de este modo una región enriquecida con los elementos de segregación. La región enriquecida con los elementos de segregación formados de esta manera es la segregación.

30

35

Evitar el movimiento del acero fundido enriquecido en soluto restante entre los brazos de dendrita de la dendrita columnar, evitar que este acero fundido enriquecido en soluto se concentre localmente, y similares, son unas medidas eficaces para evitar la segregación de los planchones de colada, y hasta ahora se han propuesto diversos métodos.

40

A continuación, en la bibliografía de patente 1, los presentes inventores han propuesto un método de colada continua de acero, cuando al colar un planchón con una sección transversal rectangular, que se moldea mientras que se provoca una vibración en el planchón impactando continuamente en el lado corto de la sección transversal rectangular del mismo, usar un equipo de vibración por impacto dispuesto en al menos una localización en dicho lado corto, incluyendo el planchón un núcleo líquido que tiene una fracción sólida de 0,1 a 0,9 en la parte central en la dirección de espesor.

45

Además, en la bibliografía de patentes 2, los presentes inventores han propuesto un método de colada continua de acero, cuando se realiza una laminación de reducción a lo largo de la dirección de extracción para un planchón con una sección transversal rectangular, conteniendo el planchón un núcleo líquido, con una pluralidad de pares de rodillos guía que se usan para el laminado de reducción, se moldea al mismo tiempo que se provocan vibraciones en el planchón al rodar cuando impacta continuamente en al menos una localización sobre la superficie de planchón dentro de una región donde la rodadura de reducción se realiza a lo largo de la dirección de extracción.

50

55

De acuerdo con estos métodos, se realiza una dendrita columnar en la etapa de crecimiento a romper por la vibración de impacto en un planchón, por lo que es posible evitar la generación de la dendrita columnar. Además, se generan unas cavidades/espacios después de que emerja un enfriamiento prematuro en una estructura equiaxial, y la segregación se produce en el interior de las cavidades/espacios; sin embargo, estas cavidades se rompen al impactar. Como resultado, la estructura equiaxial crece en alta densidad y, por lo tanto, el acero fundido enriquecido en soluto se puede fabricar para dispersarse finamente entre los granos solidificados, y se reduce la segregación, tal como la segregación central, la segregación en forma de V y la segregación en forma en V inversa, por lo que es posible obtener un planchón con buena calidad interior.

60

65

Lista de citaciones

Bibliografía de patentes

Bibliografía de patente 1: Patente japonesa N.º 3835185
 Bibliografía de patente 2: Publicación de solicitud de patente japonesa N.º 2003-334641

5

Sumario de la invención

Problema técnico

10 Como un defecto interior además de la segregación, existe una porosidad central. La porosidad central representa los poros finos generados alrededor de las partes de extremo a lo ancho en la parte central en la dirección de espesor de la misma que es el punto de solidificación final, debido a la contracción de solidificación, mientras que el acero fundido se solidifica en la colada continua y debido a la contracción térmica mediante el enfriamiento después de la solidificación. Se ha exigido reducir la segregación así como la porosidad central con el fin de mejorar la
 15 calidad interior de los planchones de colada. Además, se ha exigido establecer las condiciones de vibración adecuadas mediante la investigación de la relación detallada entre las condiciones de vibración del planchón por impacto y la calidad en la parte central del planchón, para mejorar la eficacia de la colada continua.

20 La presente invención se ha realizado en vista de los problemas mencionados anteriormente, y el objeto de la misma es proporcionar un método de colada continua de acero que pueda obtener de manera eficaz planchones con buena calidad interior sin segregación y/o sin centro de porosidad, mediante el impacto de un planchón en condiciones adecuadas para provocar una vibración en el mismo.

25 Los documentos JP 2006- 110620, JP 2002-273554 y AT 270 101 B desvelan las características de la parte precaracterizante de la reivindicación 1.

Solución al problema

30 Los presentes inventores han estudiado los métodos de colada continua de acero para obtener eficazmente planchones con buena calidad interior sin segregación y/o sin centro de porosidad, y obtener resultados en las siguientes (A) y (B).

35 (A) Al impactar un planchón con núcleo líquido en una posición en la superficie de planchón de lado corto de la sección transversal rectangular del mismo, si una región en la que el desplazamiento producido del planchón en la dirección de espesor de la misma es al menos 0,10 mm, y una distancia máxima de dicha región en una dirección normal al lado corto, es decir, en la dirección de espesor de planchón, está alejada al menos 200 mm de la posición de impacto, puede reducirse la separación en el interior del planchón.

40 (B) El desplazamiento producido del planchón en la dirección de espesor debido al impacto varía en función de la distancia entre los árboles de los rodillos de guía adyacentes, la energía de impacto y el espesor del núcleo líquido en la posición de impacto del planchón.

La presente invención se ha realizado basándose en los resultados mencionados anteriormente, y consiste en un método de colada continua de acero de acuerdo con los siguientes aspectos primero y segundo.

45 De acuerdo con un primer aspecto, en un método de colada continua de acero, cuando un planchón que tiene una sección transversal rectangular se moldea al mismo tiempo que se provoca una vibración en el planchón con un núcleo líquido disponiendo al menos un par de equipos de impacto por vibración en ambas superficies de lado corto del planchón e impactando continuamente en dichas superficies, el método se caracteriza por que: una energía de vibración, una distancia entre los árboles de los rodillos de guía adyacentes y un espesor de núcleo líquido, de tal
 50 manera que el impacto de la superficie de lado corto provoca una curva de desplazamiento $\delta(x)$ de la superficie de planchón de lado largo en la dirección de espesor según se define por las siguientes fórmulas (1) y (2) para intersectarse con una línea recta $\delta(x) = 0,10$ mm en dos localizaciones y una distancia de la intersección más alejada del origen de coordenadas en la dirección de espesor de planchón, que representa la distancia desde una posición de impacto en el lado corto del planchón, es de al menos 200 mm; y se impacta en el lado corto.

55

$$\delta(x) = \exp[-1,5 \times \{\ln(x/(200 \times (\Delta R/\Delta R_0)^{0,587}))\}^2] \times \delta_{\text{máx}} \quad (1)$$

$$\delta_{\text{máx}} = L_0 \times (E/E_0)^{0,5} \times (\Delta R/\Delta R_0) \times (t/t_0)^{0,446} \quad (2)$$

En este caso, cada símbolo en las fórmulas (1) y (2) se indica de la siguiente manera:

60 x es una distancia (mm) en la dirección de espesor de planchón, siendo la posición de impacto en el lado corto del planchón 0,

$\delta(x)$ es un desplazamiento (mm) de la superficie de planchón en la dirección de espesor de planchón en la posición x ,

$\delta_{\text{máx}}$ es el desplazamiento máximo (mm) en la dirección de espesor de planchón,

5 ΔR es una distancia entre los árboles de los rodillos guía adyacentes (mm) en la posición donde impacta el lado corto,

E es la energía de impacto por lado por segmento (J), y

t es un espesor de núcleo líquido del planchón en la posición de impacto en el lado corto del planchón (mm), en la que E_0 es 39 (J), ΔR_0 es 245 (mm), t_0 es 26 (mm), y L_0 es 0,114 (mm).

10 De acuerdo con un segundo aspecto, en el método de colada continua de acero como se describe en el primer aspecto, mediante el empleo de la misma fase de tiempo para impactar cíclicamente los lados cortos izquierdo y derecho opuestos del planchón, los desplazamientos $\delta(x)$ generados impactando los lados cortos izquierdo y derecho, respectivamente, se combinan entre sí, y el desplazamiento resultante $\delta(x)$ combinado de este modo es de al menos 0,10 mm en toda la anchura del planchón en las posiciones de impacto.

15

Efectos ventajosos de la invención

De acuerdo con la presente invención, ya que la vibración que tiene el desplazamiento de la superficie de lado largo de planchón, provocada por el impacto del lado corto de planchón, de al menos 0,10 mm puede generarse en un amplio intervalo del planchón, se reduce la segregación y/o la porosidad central, por lo que puede obtenerse un planchón que sobresale en calidad interior.

20

Breve descripción de los dibujos

25 La figura 1 es una vista que muestra una máquina de colada continua que puede adoptar un método de colada continua de la presente invención y una disposición del equipo de vibración por impacto, donde (a) muestra una vista lateral de la máquina de colada continua, y (b) muestra una vista en planta de una parte en la que se instala el equipo de vibración por impacto de la máquina de colada continua;

30 la figura 2 es una vista en sección transversal de un planchón, que muestra las posiciones de muestreo de las muestras para calcular el volumen específico de la porosidad central;

la figura 3 es una gráfica que muestra una relación entre la energía de impacto por lado por segmento y la reducción en el volumen específico de la porosidad central en una parte de extremo a lo ancho del planchón;

35 la figura 4 es una vista esquemática de un modelo de vibración de acuerdo con el impacto de un planchón con una parte de núcleo líquido, donde (a) muestra una vista en planta, y (b) muestra una vista desde la dirección de extracción;

la figura 5 es una gráfica que muestra una relación entre la distancia de una posición de impacto de lado corto y el desplazamiento de la superficie de lado largo de planchón en la dirección de espesor;

40 la figura 6 es una gráfica que muestra una relación entre el desplazamiento máximo $\delta_{\text{máx}}$ en la dirección de espesor del planchón y la reducción en el volumen específico de la porosidad central, $-\Delta V_p$;

la figura 7 es una gráfica que muestra una relación entre la energía de impacto por lado por segmento y la distancia alcanzable de vibración;

la figura 8 es una gráfica que muestra una relación entre la energía de impacto por lado por segmento y la distancia alcanzable de vibración, y que muestra la influencia de la distancia entre los árboles de los rodillos guía adyacentes; y

45 la figura 9 es una gráfica que muestra la influencia de impactar cada superficie de lado corto que es un extremo a lo ancho del planchón.

Descripción de las realizaciones

50 En lo sucesivo en el presente documento, se explicarán las razones para especificar el método de la presente invención como anteriormente y las realizaciones preferidas del método de la presente invención.

Los presentes inventores han analizado los efectos de las vibraciones realizando experimentos de colada continua a la vez que se provocan vibraciones en un planchón por impacto, investigando de este modo la influencia de las vibraciones en la calidad interior de un planchón, como se describe a continuación.

55

1. Relación entre calidad interior de planchón y energía de impacto.

1-1. Condiciones experimentales de colada

60

La figura 1 es una vista que muestra una máquina de colada continua que puede adoptar un método de colada continua de la presente invención y una disposición del equipo de vibración por impacto, donde (a) muestra una vista lateral de la máquina de colada continua, y (b) muestra una vista en planta de una parte en la que se instala el equipo de vibración por impacto de la máquina de colada continua. La máquina de colada continua mostrada en la misma figura es del tipo de flexión vertical e incluye unos equipos de vibración por impacto para el planchón de

65

colada.

5 El acero fundido 4 colado desde una artesa de colada (no ilustrada) en un molde 3 a través de una buza de inmersión 1 se enfría por el molde 3 y una pulverización de agua inyectada desde las buzas de pulverización de refrigeración secundarias (no ilustradas) por debajo del mismo, por lo que se forma una zona superficial solidificada 5 para que sea un planchón 7. Con el núcleo líquido que queda en el interior del mismo, se extrae el planchón 7 mientras se soporta por los rodillos guía. El menisco, que es una superficie 2 del acero fundido 4, se muestra en el molde 3 de figura 1. Los rodillos de guía 6 se agrupan en una pluralidad de segmentos y se disponen (no se ilustra).

10 A continuación, dos pares de equipos de impacto por vibración 8 se instalan en un sitio corriente abajo de la guía de rodillos 6 con respecto a la dirección de extracción, estando cada par dispuesto en cada segmento compuesto por los rodillos de guía para impactar en los lados cortos del planchón 7. Cada equipo de vibración por impacto 8 tiene un mecanismo de accionamiento 10 y un bloque de efecto de impacto 9 montado en una parte de extremo delantero anterior del mismo.

15 En los presentes experimentos de colada continua, se ha usado un molde para un planchón que tiene un espesor de 300 mm tal como el molde 3. Con el fin de examinar la influencia de la vibración de impacto a lo largo de una dirección a lo ancho, se ha usado un planchón de anchura más amplia de 2300 mm de anchura como el planchón 7.

20 En los experimentos de colada se adoptó una clase de acero de la siguiente composición química para su uso en placas gruesas. Específicamente, fue una clase de acero que incluye, en masa, de 0,05 a 1,00 % de carbono, de 0,04 a 0,60 % de silicio, de 0,50 a 2,00 % de manganeso, no más de un 0,020 % de fósforo y no más de un 0,006 % de azufre, siendo el resto hierro e impurezas inevitables.

25 La velocidad de colada se estableció en 0,58 a 0,61 m/min, y la cantidad de agua de enfriamiento secundaria se ajustó en 0,62 a 0,73 litro/kg de acero. La temperatura promedio del acero fundido en la artesa de colada se mantuvo sustancialmente constante con un sobrecalentamiento de ΔT en el intervalo de 30 a 50 °C. La ΔT es la diferencia entre la temperatura real del acero fundido y la temperatura de líquido del acero fundido.

30 Los dos pares de equipos de impacto por vibración 8 se dispusieron, respectivamente, en las posiciones de 22,5 m y 24,0 m corriente abajo del menisco 2 en el molde 3 con respecto a la dirección de extracción, respectivamente, con cada punto medio longitudinal del bloque de efecto de impacto 9 a lo largo de la dirección de extracción que se usa como un punto medido. Para los bloques de efecto de impacto 9 de los equipos de impacto por vibración 8, la longitud de una superficie de efecto de impacto a lo largo de la dirección de extracción fue de 1155 mm, la altura en la dirección vertical fue de 135 mm y la masa fue de 500 kg. Se empleó un equipo de cilindro de aire en el mecanismo de accionamiento 10 de los equipos de impacto por vibración 8. La frecuencia de la vibración de impacto en los lados cortos del planchón 7 se estableció en 4 a 6 Hz, es decir, de 4 a 6 impactos por segundo.

40 Al impactar en el lado corto del planchón, la dendrita columnar en la etapa de crecimiento se fabrica para romperse, lo que puede evitar la generación de la dendrita columnar. Además, después de producirse un enfriamiento prematuro en las estructuras equiaxiales, se generan cavidades/espacios, provocando de este modo la segregación en las cavidades. Sin embargo, estas cavidades se destruyen por el impacto. Como resultado, se produce una estructura equiaxial abundante en alta densidad, y por lo tanto puede fabricarse el acero fundido enriquecido en soluto para dispersarse finamente entre granos discretos solidificados, y puede reducirse la segregación y/o la porosidad central.

50 La fracción sólida en la parte central en la dirección de espesor de planchón 7 se calculó a partir del cálculo de transferencia de calor unidireccional en la dirección de espesor del planchón siendo la velocidad de colada y la cantidad de agua de enfriamiento secundaria los parámetros principales, y en función del resultado del mismo, se obtuvieron las condiciones para lograr una fracción sólida predeterminada en la parte central en la dirección de espesor en una posición de impacto. A continuación, se realizó la colada continua en las condiciones a la vez que se hacían impactar los lados cortos del planchón rectangular.

55 1-2 Estimación de la calidad interior del planchón.

La estimación de la calidad interior del planchón obtenida por la colada continua realizada a la vez que el impacto en los lados cortos del planchón rectangular se realizó mediante la estimación del estado de la generación central de porosidad.

60 1-2-1 Método de estimación del estado de generación de la porosidad de central

65 El estado de generación de la porosidad central se estimó por el método siguiente. Teniendo en cuenta la precisión de la medición de la gravedad específica y la muestra para el cálculo del volumen específico de la porosidad central muestreada a partir de un planchón, se realizó un sólido rectangular con una longitud de 50 mm (dirección de espesor del planchón), una anchura de 100 mm (dirección de espesor de planchón), y un espesor de 7 mm (dirección de extracción del planchón), y el acabado de superficie se realizó basándose en la normativa JIS para la

rugosidad de superficie en la rugosidad de superficie representada por la marca triangular ∇∇∇: la rugosidad de superficie máxima de 3,2 μm. El estado de generación de la porosidad central se estimó a partir del volumen específico de la porosidad central calculada a partir de la densidad en la parte central en la dirección de espesor, mientras que la densidad en una posición de un cuarto del espesor en la dirección de espesor (en lo sucesivo en el presente documento, también denominada como la “posición de espesor de un cuarto”) desde la superficie de planchón que es una referencia, ya que no debería producirse allí una generación significativa de porosidad central. El volumen específico de la porosidad central V_p se definió mediante la siguiente fórmula (1) usando la densidad promedio ρ_0 en la posición de espesor de un cuarto y la densidad promedio ρ en la parte central en la dirección de espesor.

$$V_p \equiv 1/\rho - 1/\rho_0 \quad (1)$$

La figura 2 es una vista en sección transversal de un planchón, que muestra las posiciones de muestreo de las muestras para calcular el volumen específico de la porosidad central. Una región que representa una parte de extremo a lo ancho en la sección transversal que es normal a la dirección de extracción del planchón, se muestra de manera fragmentada en la figura 2. La densidad promedio ρ_0 en la posición de espesor de un cuarto del planchón se calculó recopilando una muestra 7a en una localización en cada parte de extremo a lo ancho del planchón, totalizando dos, y midiendo y promediando las densidades respectivas. La densidad media ρ en la parte central en la dirección de espesor se calculó recopilando las muestras 7b, 7c y 7d en tres localizaciones en una parte de extremo a lo ancho del planchón, totalizando seis, y midiendo y promediando las densidades respectivas. Las posiciones de muestreo están cerca del lado corto del planchón, en el que las posiciones en las que se recopilaron las muestras 7a a 7d fueron tales que las muestras 7a y 7b están a 190 mm del lado corto del planchón, las muestras 7c están a 320 mm del mismo, y las muestras 7d están a 425 mm del mismo, lo que representa la distancia desde cada centro longitudinal de la muestra hasta el lado corto del planchón, respectivamente.

A continuación, basándose en el volumen específico de la porosidad central V_{p0} de un planchón libre de impacto y el volumen específico de la porosidad central V_{p1} de un planchón sometido a impactos, la reducción en el volumen específico de la porosidad central, $-\Delta V_p$, se definió por la siguiente fórmula (2).

$$-\Delta V_p \equiv V_{p0} - V_{p1} \quad (2)$$

1-2-2 Resultados de la estimación del estado de generación de la porosidad central

La figura 3 es una gráfica que muestra una relación entre la energía de impacto por lado por segmento y la reducción en el volumen específico de la porosidad central en una parte de extremo a lo ancho del planchón. En la misma gráfica, se calculó la reducción en el volumen específico de la porosidad central, $-\Delta V_p$, para cada planchón sometido a impactos con diferentes energías de impacto, y se representó gráficamente. A partir de la relación mostrada en la misma gráfica, se confirmó una relación en la que el volumen específico de la porosidad central se reduce en una parte de extremo a lo ancho de planchón cuando la energía de impacto E por lado por segmento supera los 25 J. Al calcular la ecuación de regresión para la relación entre la energía de impacto E por lado por segmento y la reducción en el volumen específico de la porosidad central, $-\Delta V_p$, en la misma gráfica, se obtuvo la siguiente fórmula (3).

$$-\Delta V_p [\text{cm}^3/\text{g}] = 0,0049347 \times E [\text{J}] - 1,297487 \quad (3)$$

A continuación, se obtiene a partir de la figura 3 el resultado de que un efecto reductor en la porosidad central en el nivel de $-\Delta V_p = 0,57 \times 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{g}$ en términos de volumen específico de la porosidad central cuando la energía de impacto E es 39 J. Además, como resultado de la observación de la estructura macro, se reconoció una tendencia de que la segregación granular es menor para el planchón sometido a impactos que el planchón libre de impactos.

2. Generalización de la relación entre la calidad interior del planchón y la energía de impacto.

Basándose en el resultado anterior, los presentes inventores estudiaron adicionalmente la generalización del resultado mencionado anteriormente en relación con el impacto en los lados cortos del planchón de sección transversal rectangular.

La figura 4 es una vista esquemática de un modelo de vibración de acuerdo con el impacto de un planchón con una parte de núcleo líquido, donde (a) muestra una vista en planta, y (b) muestra una vista desde la dirección de extracción. En la misma figura, la zona superficial solidificada 5 del planchón 7 está en un estado de restringirse por los rodillos de guía 6. En este estado, los lados cortos del planchón 7 se impactar por el equipo de vibración por impacto 8.

La forma del bloque de efecto de impacto 9 del equipo de impacto por vibraciones 8 se realizó en la forma de un sólido rectangular con una longitud a de 1200 a 1600 mm a lo largo de la dirección de extracción, el espesor c de

140 mm, y una anchura **b** de 200 mm en la dirección de espesor de planchón. Además, el planchón 7 mide una anchura de 2300 mm y un espesor de 300 mm. Usando un modelo tridimensional de este tipo, se realizó un análisis numérico para el desplazamiento de la superficie de impacto (superficie de lado largo) del planchón 7 por vibración.

5 Los presentes inventores obtuvieron a partir del análisis numérico resultados del desplazamiento de superficie del planchón 7 provocados por la vibración de impacto de tal manera que el desplazamiento máximo $\delta_{\text{máx}}$ del planchón en la dirección de espesor era sustancialmente igual al valor $\delta_{x=200 \text{ mm}}$ en una posición de 200 mm, en una dirección normal hacia el lado corto (es decir, la dirección de espesor de planchón), alejada de la posición de impacto en el lado corto.

10 Además, los presentes inventores encontraron que, de acuerdo con estudios anteriores sobre la relación entre el intervalo variable L de desplazamiento en una posición sobre la interfaz entre líquidos y sólidos y diversos factores que tienen un efecto sobre los mismos, el intervalo variable L del desplazamiento dentro de la región de vibración se ajustaba por la energía de impacto E provocada por el bloque de efecto de impacto, y que la relación de los mismos puede describirse mediante la siguiente fórmula (a). En lo sucesivo en el presente documento, cada símbolo con el subíndice 0 indica una condición representativa.

$$L/L_0 = (E/E_0)^{0.5} \quad (a)$$

20 Además, se encontró que las influencias en el intervalo variable del desplazamiento por la distancia ΔR entre los árboles de los rodillos guía adyacentes y el espesor de núcleo líquido t del planchón en la posición de impacto en el lado corto del planchón pueden ajustarse independientemente, y el intervalo variable del desplazamiento de la superficie de lado largo en la dirección de espesor de planchón en una posición de 200 mm, en una dirección normal hacia el lado corto, desde la posición de impacto en el lado corto cambia sustancialmente en proporción directa a ΔR . Basándose en este conocimiento, se obtuvo la siguiente fórmula (b) extendida a partir de la fórmula (a) como una ecuación de estimación del intervalo variable L del desplazamiento.

$$L/L_0 = (E/E_0)^{0.5} \times (\Delta R/\Delta R_0) \times f(t,t_0) \quad (b)$$

30 En este caso, f (t, t₀) representa el término eficaz del espesor del núcleo líquido del planchón. Cuando se asumió que f (t, t₀) era proporcional al exponente del valor adimensional t/t₀, se obtuvo la siguiente fórmula (c) a partir de los resultados de simulación del experimento como un ejemplo de la función f.

$$f(t,t_0) = (t,t_0)^{0.446} \quad (c)$$

35 A continuación, sustituyendo la fórmula (c) en la fórmula (b), se obtienen finalmente la siguiente fórmula (4) como una ecuación de estimación del intervalo variable L del desplazamiento (= $\delta_{\text{máx}}$).

$$\delta_{\text{máx}} \approx \delta_{x=200 \text{ mm}} = L_0 \times (E/E_0)^{0.5} \times (\Delta R/\Delta R_0) \times (t/t_0)^{0.446} \quad (4)$$

40 En este caso, cada símbolo en la fórmula anterior (4) indica las diversas cantidades siguientes:

- E: energía de impacto por lado por segmento (J);
- 45 ΔR : distancia entre los árboles de los rodillos guía adyacentes en una posición de impacto en el lado corto (mm);
- y
- t: espesor del núcleo líquido del planchón en una posición de impacto en el lado corto del planchón (mm).

Además, E₀, ΔR_0 y t₀ son valores numéricos de la condición en la que el efecto de reducción de porosidad central de E, ΔR , y t es el más grande, respectivamente, y L₀ es una condición representativa del desplazamiento máximo en la dirección de espesor del planchón cuando el efecto de reducción de porosidad central es el mayor, y cada uno es la constante de la siguiente manera (5). En lo sucesivo en el presente documento, estas condiciones también se denominan como la condición (5).

$$E_0=39 \text{ (J)}, \Delta R_0=245 \text{ (mm)}, t_0=26 \text{ (mm)}, L_0=0,114 \text{ (mm)} \quad (5)$$

55 Los presentes inventores encontraron que, cuando el desplazamiento $\delta(x)$ en la dirección de espesor de la superficie de planchón (es decir, el lado largo) en una posición que está en una dirección normal hacia el lado corto del planchón y lejos de la posición de impacto en el lado corto del planchón una distancia x, calculada por el análisis numérico, se aproxima de acuerdo con la distribución normal logarítmica, es posible generalizar como la siguiente fórmula (6), usando el $\delta_{\text{máx}}$ de la fórmula anterior (4).

$$\delta(x) = \exp[-1,5 \times \{\ln(x/(200 \times (\Delta R/\Delta R_0)^{0.587}))\}^2] \times \delta_{\text{máx}} \quad (6)$$

La figura 5 es una gráfica que muestra una relación entre la distancia desde una posición de impacto de lado corto y el desplazamiento de la superficie de lado largo de planchón en la dirección de espesor. El eje horizontal en la misma gráfica es la distancia x desde la posición de impacto en el lado corto del planchón en una dirección normal hacia el lado corto, y el eje vertical es el desplazamiento adimensional en la dirección de espesor de planchón de la superficie de planchón (valor adimensional donde se divide $\delta(x)$ por $\delta_{\text{máx}}$ para permitir que el desplazamiento máximo sea uno (1)). En la misma gráfica, las marcas de círculo abierto indican los valores calculados de acuerdo con el análisis numérico, y las marcas de círculo sólido indican los valores aproximados de acuerdo con la distribución normal logarítmica. Es evidente a partir de los resultados que se muestran en la misma gráfica que los valores calculados de acuerdo con el análisis numérico se aproximan con precisión mediante la distribución normal logarítmica.

3. Relación entre la calidad interior del planchón y el desplazamiento de la superficie de planchón por impacto

La figura 6 es una gráfica que muestra una relación entre el desplazamiento máximo $\delta_{\text{máx}}$ en la dirección de espesor del planchón y la reducción en el volumen específico de la porosidad central, $-\Delta V_p$. La relación mostrada en la misma gráfica se preparó buscando la relación entre $\delta_{\text{máx}}$ y $-\Delta V_p$ a partir de la fórmula (3) y la fórmula (4) al tiempo que se configuraba ΔR como 245 (mm) y t como 26 (mm) adoptando la condición (5). Para el espesor de núcleo líquido t del planchón en la posición de impacto en el lado corto del planchón, el espesor de núcleo líquido en la entrada del segmento en el que está dispuesto el equipo de vibración por impacto 8 se calculó a partir de los análisis de conducción y solidificación de calor para el caso de la velocidad de colada de 0,7 m/min a usar.

Los presentes inventores han descubierto, a partir de los resultados de la figura 6 que, cuando $\delta_{\text{máx}}$ es de al menos 0,10 mm, el volumen específico de la porosidad central disminuye para un planchón con un espesor de 300 mm y una anchura de 2300 mm.

Además, los presentes inventores han avanzado el estudio sobre la relación entre la calidad interior de un planchón y el desplazamiento de la superficie de planchón por impacto, y han descubierto que, cuando $\delta_{\text{máx}}$ es al menos 0,10 mm y la distancia x que produce $\delta_{\text{máx}}$ desde el lado corto es de al menos 200 mm, o como alternativa, la distancia x que produce $\delta_{\text{máx}}$ es menor que 200 mm y el desplazamiento $\delta(x)$ en $x = 200$ mm es de al menos 0,10 mm, la segregación y la porosidad central pueden realizarse para que disminuyan en un intervalo amplio del interior del planchón, y la calidad interior del planchón puede mejorarse. Además, aunque los presentes experimentos de colada continua se realizaron instalando dos pares de equipos de vibración de impacto, se confirmó que se obtiene un efecto de mejora de la calidad interior del planchón incluso en el caso de un par o tres o más pares, de manera similar al caso de dos pares de equipos de impacto por vibración.

4. Relación entre la energía de impacto y la distancia alcanzable de la vibración por impacto

Resolviendo la fórmula anterior (6) para x , se obtiene la siguiente fórmula (7) como una función del desplazamiento δ en la dirección de espesor del planchón y la distancia entre los árboles de los rodillos guía adyacentes de ΔR en la posición de impacto en la superficie de lado corto.

$$x = 200 \times (\Delta R / \Delta R_0)^{0.587} \times \exp\left\{-\ln(\delta / \delta_{\text{máx}}) / 1,5\right\}^{0.5} \quad (7)$$

La figura 7 es una gráfica que muestra una relación entre la energía de impacto por lado por segmento y la distancia alcanzable de la vibración. El valor máximo x^* de la distancia x de una región en la que el desplazamiento δ en la dirección de espesor de planchón debido al impacto es de al menos 0,10 mm, como que es desde la posición de impacto en el lado corto del planchón en una dirección normal al lado corto, se define como la distancia alcanzable de la vibración. La marca de círculo sólido en el mismo gráfica es el resultado, en el caso de impactar mientras se adopta la condición (5), que configura el espesor del planchón como 300 mm, la energía de impacto E por lado por segmento para el lado corto del planchón como 40 J, que muestra que x^* es 200 mm. Además, la curva en la figura 7 se calculó a partir de la fórmula anterior (7) y las condiciones de la marca de círculo sólido. Se entiende a partir de la relación mostrada en la misma gráfica que es posible aumentar la distancia alcanzable de la vibración x^* al aumentar la energía de impacto E . Por ejemplo, la distancia alcanzable de la vibración x^* aumenta un 25 %, desde 200 mm a 250 mm, al aumentar la energía de impacto E de 40 J a 65 J. En otras palabras, al aumentar la energía de impacto E , es posible una mejora de la calidad en la parte central en la dirección de espesor de planchón en la proximidad de una parte de extremo a lo ancho de planchón en la que se genera fácilmente la porosidad central debido a la solidificación retardada en condiciones de colada complejas.

5. Relación de la distancia entre los árboles de los rodillos guía adyacentes con la distancia alcanzable de la vibración por impacto

La figura 8 es una gráfica que muestra una relación entre la energía de impacto por lado por segmento y la distancia alcanzable de la vibración, cuando se varía la distancia entre los árboles de los rodillos guía adyacentes. La figura 8 es una gráfica para el caso de impacto con las mismas condiciones que la figura 7, excepto por la distancia entre los

árboles de los rodillos guía adyacentes ΔR que es de 245 mm o 400 mm. Se entiende a partir de la relación mostrada en la misma gráfica que la distancia alcanzable de la vibración x^* aumenta cuando la distancia entre los árboles de los rodillos guía adyacentes ΔR se ensancha de 245 mm a 400 mm. En otras palabras, en el caso del planchón cuya proporción entre la longitud de lado largo y la longitud de lado corto es grande, la anchura de planchón es grande, y el abombado entre los árboles de los rodillos guía adyacentes se produce fácilmente; por lo tanto, no es posible adoptar una gran distancia entre los rodillos guía adyacentes ΔR . Por otro lado, en el caso del planchón cuya proporción entre la longitud de lado largo y la longitud de lado corto es pequeña (es decir, en tal caso, el planchón se denomina como tocho), el ancho de tocho es estrecho y el abombado entre los árboles de los rodillos guía adyacentes es poco; por lo tanto, es posible adoptar una gran distancia entre los árboles de los rodillos guía adyacentes ΔR , lo que es ventajoso desde el punto de vista de poder obtener el efecto de impactar en un intervalo amplio.

6. Efecto de impactar desde ambos lados cortos

La figura 9 es una gráfica que muestra la influencia de impactar en cada superficie de lado corto que es un extremo a lo ancho del planchón. La misma gráfica define el eje horizontal como la distancia en una dirección normal al lado corto desde el centro a lo ancho del planchón, y define el eje vertical como el desplazamiento δ de la superficie de planchón en la dirección de espesor del planchón. Los resultados del cálculo se muestran para los casos de impacto: solo el lado corto izquierdo que queda a la izquierda con respecto a la dirección de extracción del planchón; solo el lado corto derecho; y ambos lados cortos simultáneamente, en el que el planchón de colada es un tocho de aproximadamente 400 mm de ancho, la distancia entre los árboles de los rodillos guía adyacentes ΔR es de 400 mm, y una energía de impacto por lado por segmento es de 45 J. Se entiende a partir de los resultados mostrados en la misma gráfica que, cuando se combinan el desplazamiento de impacto de lado izquierdo δ_L que es el desplazamiento en una dirección de espesor del planchón en el caso de impactar solo en el lado corto izquierdo con respecto a la dirección de extracción y el desplazamiento de impacto de lado derecho δ_R que es el desplazamiento en la dirección de espesor del planchón en el caso de impactar solo en el lado corto derecho en el lado derecho, el resultado se convierte en equivalente al desplazamiento δ_D en la dirección de espesor del planchón en el caso de impactar a la vez en ambos lados cortos del planchón.

En el caso de impactar solo en el lado corto izquierdo con respecto a la dirección de extracción o solo en el lado corto derecho, la longitud horizontal del territorio en el que el desplazamiento δ en la dirección de espesor de planchón es de al menos 0,10 mm, es de aproximadamente 300 mm, que es la longitud a lo ancho de planchón en una dirección normal hacia el lado corto, y el desplazamiento δ no puede realizarse al menos 0,10 mm en toda la anchura. Sin embargo, al impactar simultáneamente en los lados cortos en ambos lados, el desplazamiento δ puede realizarse al menos 0,10 mm en toda la anchura de la posición de impacto. Además, tal como se entiende a partir de la figura 9, en el caso de impactar simultáneamente en ambos lados cortos, un valor máximo de desplazamiento δ en la parte central en la dirección de espesor del planchón alcanza 0,40 mm, y por lo tanto el desplazamiento δ puede aumentarse drásticamente, y es posible lograr una mejora adicional en la calidad interior del planchón de colada.

40 **Aplicabilidad industrial**

De acuerdo con el método de la presente invención, ya que al impactar en la superficie de lado corto de planchón se provoca una vibración que tiene un desplazamiento de la superficie de planchón de lado largo de al menos 0,10 mm sobre un intervalo amplio del planchón, se reduce la segregación y/o la porosidad central, y por lo tanto puede obtenerse un planchón que sobresale en calidad interior. Por lo tanto, el método de la presente invención puede aplicarse ampliamente como un método de colada continua para moldear planchones de calidad interior preferible.

Lista de signos de referencia

1: buza de inmersión, 2: superficie de acero fundido (menisco), 3: molde, 4: acero fundido, 5: zona superficial solidificada, 6: rodillo guía, 7: planchón de colada, 7a, 7b, 7c, 7d: muestra de planchón de colada, 8: equipo de vibración por impacto, 9: bloque, 10: pieza de accionamiento.

REIVINDICACIONES

1. Un método de colada continua de acero en el que se moldea un planchón que tiene una sección transversal rectangular al mismo tiempo que se provoca una vibración en el planchón con un núcleo líquido disponiendo al menos un par de equipos de impacto por vibración en ambas superficies de lado corto del planchón e impactando continuamente en dichas superficies, **caracterizado por que:**

una energía de vibración, una distancia entre los árboles de los rodillos guía adyacentes y un espesor de núcleo líquido se ajustan, de tal manera que el impacto de la superficie de lado corto provoca una curva de desplazamiento $\delta(x)$ de la superficie de planchón de lado largo en la dirección de espesor de planchón como se define por las siguientes fórmulas (1) y (2) para intersecarse con una línea recta $\delta(x) = 0,10$ mm en dos localizaciones, y una distancia de la intersección más alejada del origen de coordenadas en la dirección de espesor de planchón, que representa la distancia desde una posición de impacto en el lado corto del planchón, es de al menos 200 mm; y se impacta en el lado corto,

$$\delta(x) = \exp[-1,5 \times \{\ln(x/(200 \times (\Delta R/\Delta R_0)^{0,587}))\}^2] \times \delta_{\text{máx}} \quad (1)$$

$$\delta_{\text{máx}} = L_0 \times (E/E_0)^{0,5} \times (\Delta R/\Delta R_0) \times (t/t_0)^{0,446} \quad (2)$$

donde cada símbolo en las fórmulas (1) y (2) se indica de la siguiente manera,

- x es una distancia (mm) en la dirección de espesor de planchón, siendo la posición de impacto en el lado corto del planchón 0,
- $\delta(x)$ es un desplazamiento (mm) de la superficie de planchón en la dirección de espesor de planchón en la posición x,
- $\delta_{\text{máx}}$ es el desplazamiento máximo (mm) en la dirección de espesor de planchón,
- ΔR es una distancia entre los árboles de los rodillos guía adyacentes (mm) en la posición donde impacta en el lado corto,
- E es la energía de impacto por lado por segmento (J), y
- t es un espesor de núcleo líquido del planchón en la posición de impacto en el lado corto del planchón (mm), en la que las constantes se definen como $E_0 = 39$ (J), $\Delta R_0 = 245$ (mm), $t_0 = 26$ (mm), y $L_0 = 0,114$ (mm).

2. El método de colada continua de acero de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** además se emplea la misma fase de tiempo para impactar cíclicamente en los lados cortos izquierdo y derecho opuestos del planchón, de tal manera que los desplazamientos $\delta(x)$ generados impactando en los lados cortos izquierdo y derecho, respectivamente, se combinan entre sí, y el desplazamiento resultante $\delta(x)$ combinado de este modo es de al menos 0,10 mm en toda la anchura del planchón en las posiciones de impacto.

FIG. 1

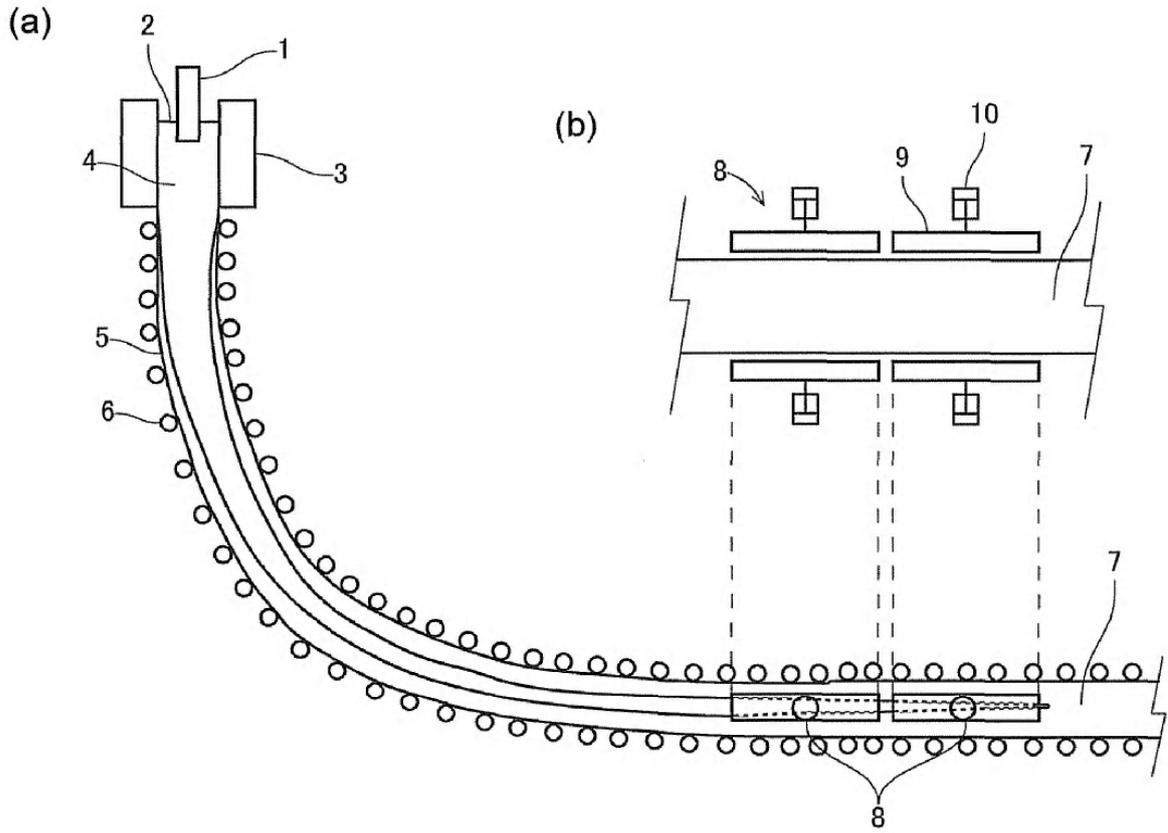


FIG. 2

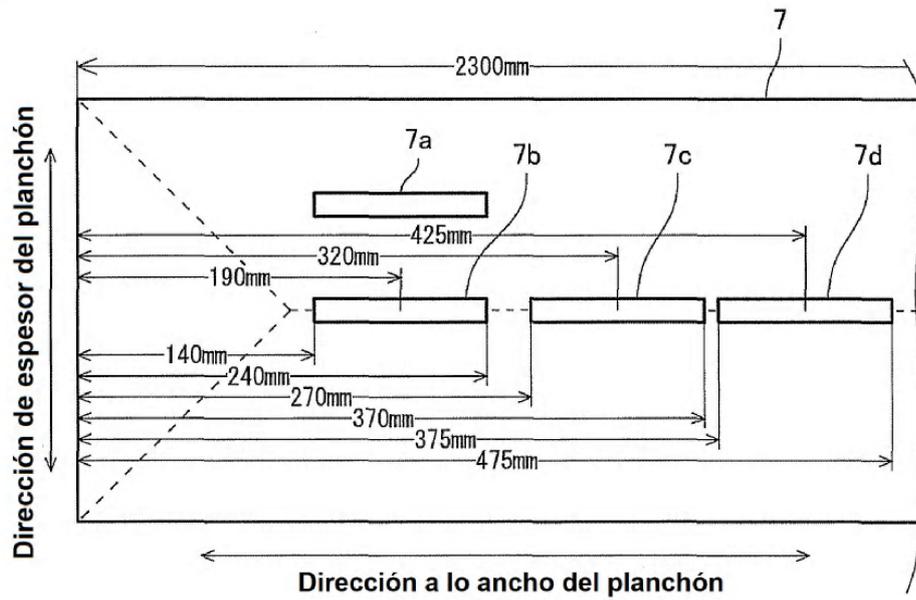


FIG. 3

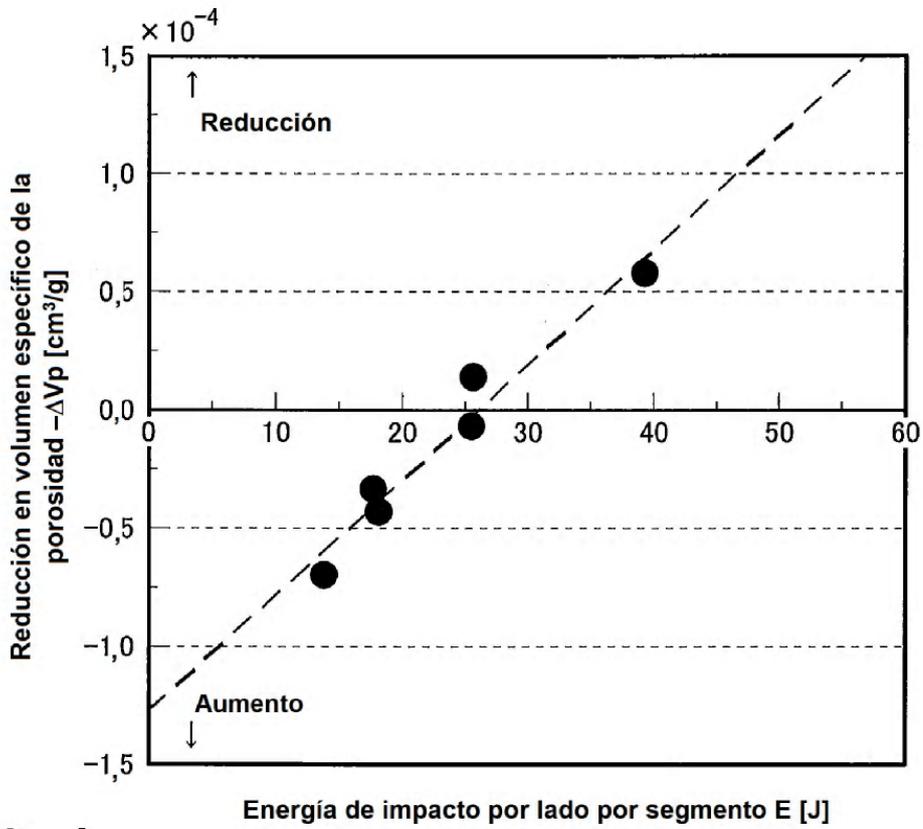


FIG. 4

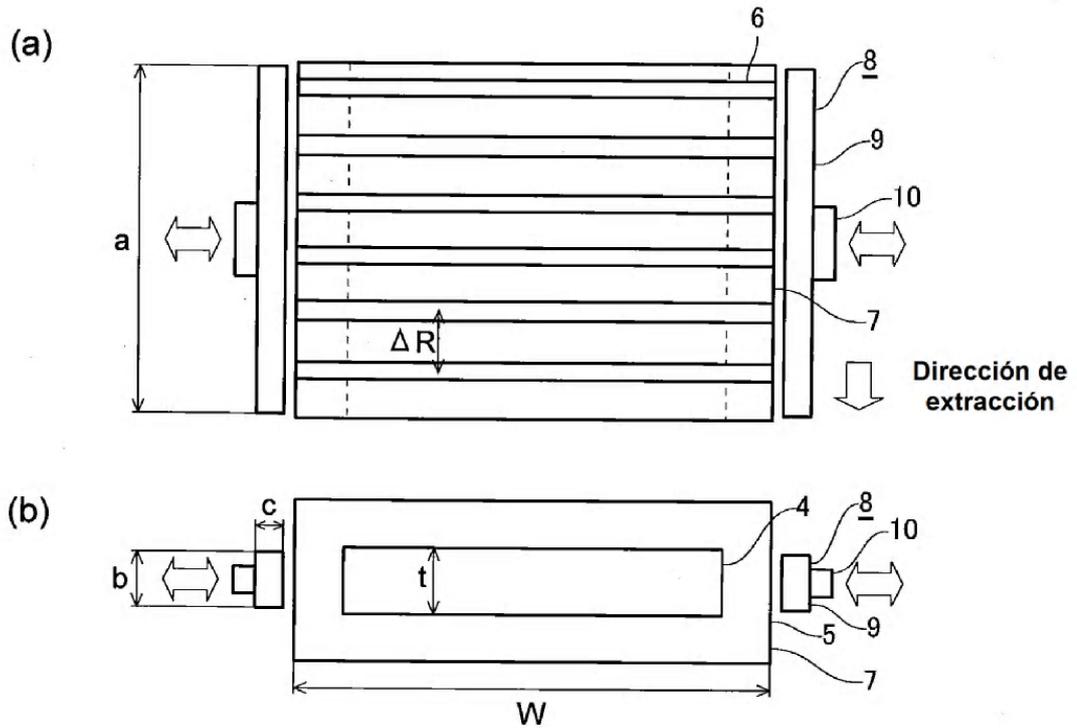


FIG. 5

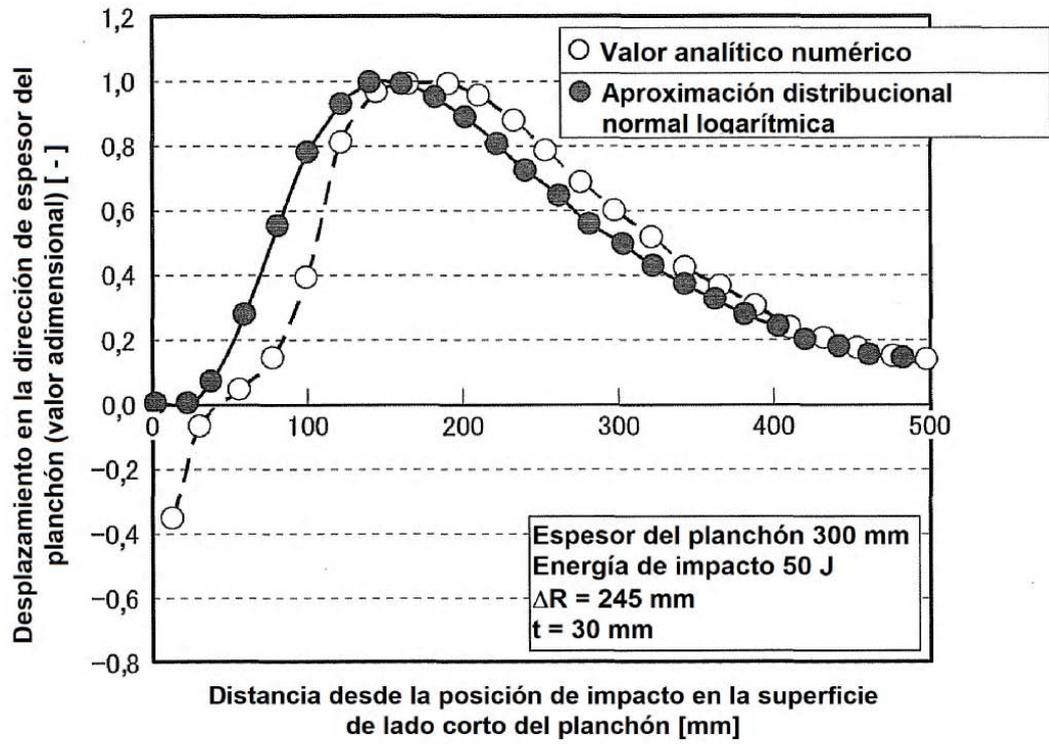


FIG. 6

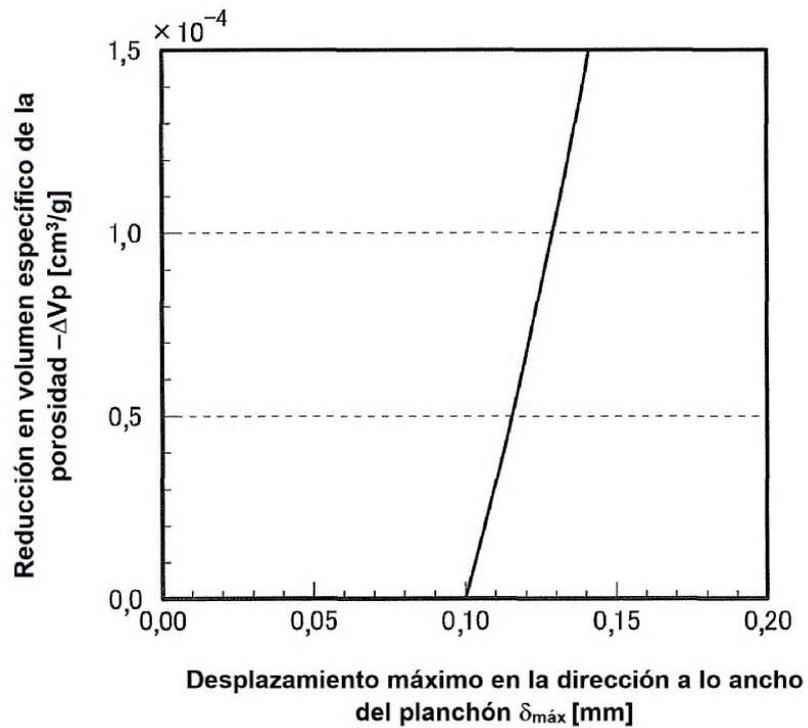


FIG. 7

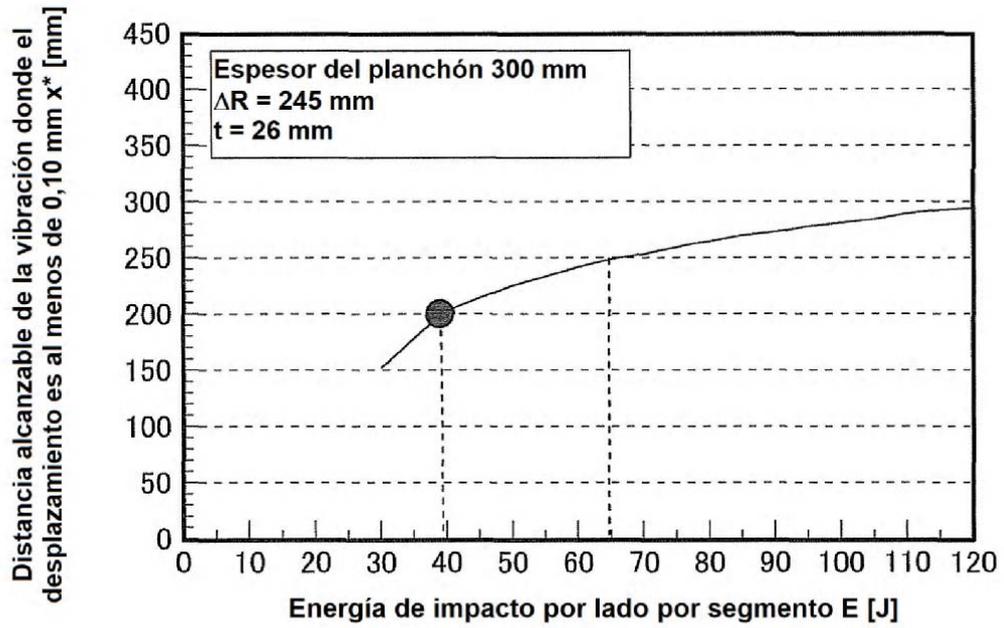


FIG. 8

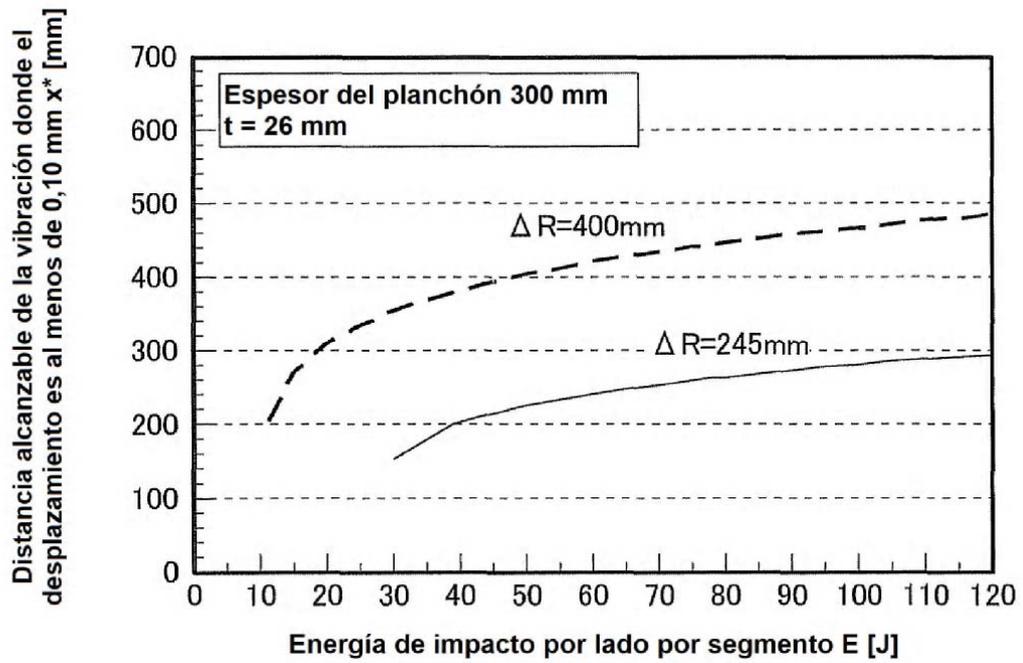


FIG. 9

