

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 696 975**

51 Int. Cl.:

**B22D 11/124** (2006.01)  
**B22D 11/115** (2006.01)  
**B22D 11/16** (2006.01)  
**B22D 11/22** (2006.01)  
**B22D 11/18** (2006.01)  
**B22D 11/20** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.07.2007 PCT/JP2007/064557**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.12.2008 WO09001480**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.07.2007 E 07791273 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.08.2018 EP 2165788**

54 Título: **Método para colada de forma continua de barra con sección transversal pequeña**

30 Prioridad:

**28.06.2007 JP 2007170547**

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

**21.01.2019**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**TSUKAGUCHI, YUICHI;  
KAWAMOTO, MASAYUKI;  
HANA O, MASA HITO;  
HIRATA, ATSUSHI y  
HAYASHI, HIROSHI**

74 Agente/Representante:

**PONS ARIÑO, Ángel**

ES 2 696 975 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 para colada de forma continua de barra con sección transversal pequeña

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un método para colada de forma continua de una barra de colada con una sección transversal pequeña (en lo sucesivo también denominada meramente como "barra" para abreviar) a partir de cualquiera de diversos grados de acero tal como acero al carbono, acero de baja aleación, acero de alta aleación y acero inoxidable mientras que reduce la posibilidad de formación de porosidad central a lo largo del centro de barra y mejora la calidad interior dentro de la barra.

**Antecedentes de la técnica**

15 En un proceso tal como el proceso de extrusión de Ugine-Sejournet o proceso de fabricación de tubos de Mannesmann mediante un proceso de rodamiento o forjado, para fabricar una tubería sin soldaduras de acero a partir de una barra, producida por colada continua como una materia prima, por ejemplo, la parte interior de la barra de uso constituye la superficie interna de la tubería. Por lo tanto, la barra para la fabricación de una tubería sin soldadura se requiere obligatoriamente que sea homogénea en calidad no únicamente en la superficie exterior sino también en el interior y, por lo tanto, el control de calidad de la parte interior de la barra es importante. Si se produce porosidad central en una barra obtenida mediante colada continua y la extensión de la misma está por encima de un límite de tolerancia, la tubería de acero sin soldadura producida a partir de la barra a menudo tiene defectos de superficie interior, que tienen la probabilidad de rechazarse desde el punto de vista de la calidad.

25 Por lo tanto, se ha propuesto un método de enfriamiento secundario que utiliza contracción térmica durante enfriamiento de barra para el propósito de reducir la posibilidad de que se produzca porosidad central en la barra en un proceso de colada de barra continua.

30 Por ejemplo, en la Publicación de Solicitud de Patente Japonesa S62-61764, se divulga un método que comprende someter la superficie de barra a refrigeración por agua a presión, siguiendo la dirección de colada, en una región que va desde el sitio en 2-15 m en frente de un extremo de cráter de núcleo líquido dentro de la barra en la dirección de colada hasta el extremo de cráter de núcleo líquido hasta cierto punto que la contracción de la misma durante solidificación llega al menos a la cantidad de contracción en volumen para provocar contracción de la capa solidificada de la barra y por lo tanto reduce la sección transversal de la barra, reduciendo de este modo la extensión de segregación central.

35 Además, en la Publicación de Solicitud de Patente Japonesa S62-263855, se divulga un método que comprende disminuir sucesivamente la temperatura de superficie de barra, siguiendo la dirección de colada, en un área que se extiende desde el sitio en 2-15 m en frente de un extremo de cráter de núcleo líquido dentro de la barra en la dirección de colada hasta el extremo de cráter de núcleo líquido, a una temperatura no menor que la temperatura de transformación  $A_3$  del acero o la temperatura de inicio  $T_A$  de la transformación  $A_{cm}$  y no mayor que la temperatura efectiva de superficie de barra  $T_v$  dada por  $T_a + (T_N - T_a) \times 0,3 = T_v$  en respuesta al progreso de solidificación del núcleo líquido de barra para provocar que la capa solidificada de barra se contraiga y por lo tanto reduzca la sección transversal de la barra y de este modo reduzca la posibilidad de formación de porosidad central. En la ecuación anterior,  $T_N$  es la temperatura de superficie de barra que resulta a partir del enfriamiento al aire libre después de dejar la unidad de rodillo de arrastre y  $T_a$  es la temperatura de superficie de barra a la que se logra tal enfriamiento medio de la capa solidificada que es necesario para compensar la cantidad de contracción durante la solidificación.

50 Además, la Publicación de Solicitud de Patente Japonesa H02-15856 divulga un método que comprende someter la barra a enfriamiento forzado, mientras el núcleo de la barra durante colada continua está en una condición de fase solidificada blanda, de modo que un efecto de tal forma que el núcleo blando está siempre comprimido por la capa ya completamente solidificada alrededor del núcleo debido a la diferencia en contracción térmica entre el núcleo y la capa, para reducir de este modo la posibilidad de formación de porosidad central.

55 Sin embargo, los métodos divulgados en la Publicación de Solicitud de Patente Japonesa S62-61764, Publicación de Solicitud de Patente Japonesa S62-263855 y Publicación de Solicitud de Patente Japonesa H02-15856, entre otras, tienen los siguientes problemas. Por ejemplo, (1) cuando se efectúa enfriamiento forzado en el lado excesivamente aguas arriba con relación al punto de solidificación final, no queda más tolerancia de temperatura en un momento cuando la posibilidad de formación de porosidad central se vuelve realmente alta y el efecto de enfriamiento disminuye; (2) si se detiene el enfriamiento cuando el núcleo de la barra no está aún en un estado solidificado, la vuelta de calor provoca un aumento de porosidad central o agrietamiento interno; (3) los intervalos de condiciones apropiadas para obtener los efectos de la reducción de porosidad central y segregación central son muy estrechos, de modo que perturbaciones extrañas, por ejemplo, provocan fácilmente que las condiciones de producción reales se desvíen de los intervalos apropiados.

65 Anteriormente, los presentes inventores propusieron los métodos divulgados en las Patentes Japonesas N.º 2.856.068, N.º 3.405.490 y N.º 3.401.785 y resumidas a continuación como tecnologías de mejora de los métodos

divulgados en las anteriormente citadas Publicaciones de Solicitud de Patente Japonesa S62-61764, S62-263855 y H02-15856.

El método propuesto en la Patente Japonesa N.º 2.856.068 es un método de enfriamiento que comprende iniciar el enfriamiento de superficie de barra en una densidad de agua de refrigeración especificada en el momento de llegada de la relación de fase sólida en la porción central de la barra en 0,1-0,3 y continuar el enfriamiento con agua en esa densidad de agua de refrigeración hasta llegar de la relación de fase sólida en la porción central de la barra en un nivel no menor de 0,8. El método propuesto en la Patente Japonesa N.º 3.405.490 es un método para mejorar la calidad interior que comprende iniciar el enfriamiento de superficie de una barra que tiene un diámetro o grosor que no excede de un valor especificado con agua en una cantidad específica dentro de un intervalo especificado en el momento de llegada de la relación de fase sólida en la porción central de la barra en 0,2-0,8 y continuar el enfriamiento con agua con la cantidad específica de agua anterior hasta la solidificación completa. El método propuesto en la Patente Japonesa N.º 3.401.785 es un método de enfriamiento que comprende ajustar la densidad de enfriamiento de superficie de barra agua a un valor dentro de un intervalo especificado desde un sitio 0,1-2,0 m desde dentro del extremo de cráter de núcleo líquido en la dirección de colada hasta la llegada de la relación de fase sólida en la porción central de la barra en un nivel no menor de 0,99, mientras aumenta la densidad de agua de refrigeración hacia el lado aguas abajo.

Los presentes inventores por lo tanto han contribuido a mejoras notables con respecto a los problemas (1)-(3) mencionados anteriormente poniendo en práctica las tecnologías divulgadas en las anteriormente mencionadas Patentes Japonesas N.º 2.856.068, N.º 3.405.490 y N.º 3.401.785. Para obtener los efectos de mejora de calidad interior de forma más estable y más fiable, sin embargo, aún hay margen de mejora desde el punto de vista tecnológico.

El documento JP 3401785 B2 divulga colada continua de una barra en la que una superficie de pieza de colada se enfría con agua mediante una densidad de volumen de agua de 100-300 litros/(min.m<sup>2</sup>) en una banda de enfriamiento de fuerza terminal de solidificación en una posición 0,1-2,0 m antes de la punta de lanza de dirección de colada de una piscina de metal fundido o un periodo en el que una relación de fase sólida de parte central de pieza de colada se vuelve 0,99 o más de 0,1-0,8. Haciendo esto, una velocidad de contracción de cara exterior puede hacerse más grande que la de la parte central de colada, resultando en la reducción de la generación de la porosidad central o segregación central en la parte central de pieza de colada.

El documento JP 2006-095545 divulga un aparato de enfriamiento para material metálico proporcionado con un cabezal que tiene boquillas de pulverización de gas-líquido mezclado y el gas y el líquido suministrados en el cabezal se suministran individualmente en las boquillas de pulverización de gas-líquido mezclado a través del espacio individual en el cabezal y el cabezal se forma como una forma cilíndrica y también, las boquillas de pulverización de gas-líquido mezclado se disponen en el lado de superficie periférica interior del cabezal.

El documento JP H 0549156 U divulga un sensor de nivel de corriente inducida.

El documento JP 2005-224847 divulga un método para controlar el nivel de acero fundido en el molde en el aparato de colada continua.

#### Divulgación de la invención

La presente invención, que se ha hecho a la vista de los problemas analizados anteriormente, tiene su objeto proporcionar un método de colada continua de una barra con una sección transversal pequeña a partir de cualquiera de los diversos grados de acero tal como acero al carbono, acero de baja aleación, acero de alta aleación y acero inoxidable en el que la formación de porosidad central en el centro de barra puede reducirse de forma estable y fiable y puede exhibirse el efecto de mejora de calidad interior.

Los presentes inventores han puesto las tecnologías descritas en las Patentes Japonesas anteriormente mencionadas N.º 2.856.068, N.º 3.405.490 y N.º 3.401.785, entre otras, en práctica y han acumulado un número de casos de aplicación. Al mismo tiempo, han continuado con sus trabajos de investigación y desarrollo para establecer un método de colada continua de una barra con una sección transversal pequeña en el que el efecto de mejora de calidad interior puede producirse de forma más estable y más fiable. Como resultado, obtuvieron los siguientes hallazgos (a)-(h), que ahora han conducido a la finalización de la presente invención.

(a) El método de la invención que utiliza la contracción térmica que resulta a partir de enfriamiento de superficie de barra para provocar la compresión de la barra es altamente efectivo en colada continua de una barra de sección transversal pequeña cuya área de sección transversal no es mayor de 500 cm<sup>2</sup>. Ya que, en la colada continua anteriormente mencionada, se usa un molde con una sección transversal pequeña y se usa un sensor de corriente inducida para control de nivel de fusión en un molde, es necesario usar una boquilla de inmersión cilíndrica con un único orificio como la boquilla para verter acero fundido en el molde.

(b) Ajustando el movimiento del acero fundido en el molde mediante agitación electromagnética, es posible aumentar la relación de formación de cristales equiaxiales en la porción central de la barra e inhibir el desarrollo de porosidad en el centro de barra y adicionalmente permite que la capa solidificada crezca uniformemente. Para asegurar el efecto de estimulación de formación de cristales equiaxiales mediante la agitación electromagnética anteriormente mencionada, es necesario que el diámetro interior del único orificio de la boquilla de inmersión mencionada en (a) no sea menor de 40 mm  $\phi$  de modo que la velocidad de flujo de salida de acero fundido

puede suprimirse.

(c) Para mantener el crecimiento de la capa solidificada de forma estable y suprimir la variación en relación de fase sólida en el centro de barra en la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación, control de nivel de acero fundido de alta presión en el molde es necesario y para mediciones de nivel de acero fundido, el uso de un sensor de corriente inducida para control de nivel de acero fundido en un molde es apropiado, como se ha mencionado anteriormente en (a). Con otros sensores de nivel de acero fundido del tipo de rayo  $\gamma$ , tipo termopar y así sucesivamente, la sensibilidad de detección de nivel de acero fundido es baja y esas mediciones de nivel de acero fundido de alta presión que se requieren en la práctica de la invención pueden no realizarse nunca por los mismos.

(d) Para asegurar la productividad en colada continua y lograr operaciones estables, es necesario proporcionar una zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación en la región del menisco de acero fundido en el molde a una distancia de 15-45 m en la dirección de colada. Para enfriamiento de barra suficiente y para evitar el enfriamiento inútil y prevenir deformación de barra debido a súper enfriamiento, es necesario que la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación sea una zona de enfriamiento continua que tiene una longitud de 3-8 m.

(e) Es apropiado que la velocidad de colada se ajuste de modo que la región en la que la relación de fase sólida en el centro de barra sea 0,3-0,99 se incluya en la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación. La razón es que ya que la porosidad en el centro de barra tiene el punto de iniciación de ocurrencia en la región en la que la relación de fase sólida en el centro de barra es 0,3-0,99 y crece en esa región, es efectivo en prevenir la ocurrencia de porosidad en el centro de barra para efectuar enfriamiento de terminal en el intervalo de relación de fase sólida mencionado anteriormente.

(f) Es necesario que la cantidad específica de agua de refrigeración en la zona de enfriamiento de barra secundaria sea de 0,1-0,8 litros (L)/kg de acero y que la temperatura de superficie de barra en la entrada de la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación sea de 900-1200 °C. Cuando la cantidad específica de agua en la zona de enfriamiento secundaria es más pequeña, la barra se hincha debido a la presión hidrostática de acero fundido y se vuelve difícil predecir o estimar la relación de fase sólida en el centro de barra en la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación. Cuando, por el contrario, la cantidad específica de agua es excesiva, el enfriamiento no se vuelve más uniforme y se producen fácilmente fluctuaciones en el grosor de la capa solidificada, con el resultado de que la relación de fase sólida en el centro de barra en la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación se vuelve difícil de predecir.

Cuando la temperatura de superficie de barra en la entrada de la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación es menor de 900 °C, se produce la transformación de fase de fase  $\gamma$  a fase  $\alpha$  y la superficie de barra se expande, de modo que el efecto de reducción de porosidad se disminuye fácilmente. Cuando, a la inversa, la temperatura de superficie de barra en la entrada de la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación es excesivamente alta, el enfriamiento no se vuelve más uniforme y el efecto de reducción de porosidad se vuelve inestable.

(g) Es necesario que la densidad de agua de refrigeración en la superficie de barra en la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación sea de 20-300 L/(min · m<sup>2</sup>). Esto es porque cuando la densidad de agua de refrigeración es menor, el efecto de enfriamiento es muy débil para que los efectos de la invención se produzcan satisfactoriamente y, cuando la densidad de agua de refrigeración está por encima de 300 L/(min · m<sup>2</sup>), la temperatura de superficie de barra se reduce a un grado excesivo y la superficie de barra se expande debido a la transformación de fase de fase  $\gamma$  a fase  $\alpha$  y por lo tanto el efecto de reducción de porosidad se disminuye fácilmente.

(h) El corte de la barra tiene que realizarse al menos 1 m aguas abajo de la salida de la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación. Esto es porque cuando la barra se corta justo después de la salida de la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación, la barra después del corte se dobla fácilmente debido al hecho de que las fluctuaciones en la temperatura de superficie de barra provocada por que el enfriamiento desigual durante el periodo final de solidificación aún no se han reducido.

La esencia de la presente invención, que se ha completado basándose en los hallazgos anteriores, consiste en los siguientes métodos de colada continua especificados a continuación en (1)-(5).

(1) Un método para colada de forma continua de una barra con una sección transversal pequeña en la que la barra tiene un área de sección transversal de no más de 500 cm<sup>2</sup> y se usa una boquilla de inmersión cilíndrica con un único orificio de no menos de 40 mm en diámetro interior para verter un acero fundido en un molde, caracterizado por que: se mide un nivel de superficie de acero fundido usando un sensor de corriente inducida y el nivel de acero fundido en un molde se controla basándose en el valor así medido, y movimiento de acero fundido en el molde se ajusta proporcionando agitación electromagnética; una zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación, que tiene una longitud de 3-8 m y es continua en la dirección de colada, se proporciona en la región que se encuentra a 15-45 m de distancia del menisco de acero fundido en el molde en la dirección de colada, y se ajusta una velocidad de colada de modo que la región en la que la relación de fase sólida en la porción central de la barra es 0,3-0,99 se incluye en la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación; la barra se enfría en una segunda zona de enfriamiento, ubicada en el lado aguas arriba (en la dirección de colada) con relación a la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación, con agua de refrigeración en una cantidad específica de 0,1-0,8 litros (L)/kg de acero para ajustar de este modo la temperatura de superficie de barra en la entrada de la zona de enfriamiento durante el periodo final de

solidificación a 900-1200 °C; la barra se enfría en la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación en una densidad de agua de refrigeración en la superficie de barra de 20-300 litros (L)/(min · m<sup>2</sup>); y la barra se corta en un sitio de al menos 1 m aguas abajo (en la dirección de colada) con relación a la salida de la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación (en lo sucesivo en ocasiones denominado también como "un primer aspecto de la invención").

(2) El método de colada continua como se describe anteriormente en (1), caracterizado por que las fluctuaciones en el nivel de superficie de acero fundido en el molde se controlan dentro de  $\pm 10$  mm (en lo sucesivo en ocasiones denominado también como "un segundo aspecto de la invención").

(3) El método de colada continua como se describe anteriormente en (1) o (2), caracterizado por que la agitación electromagnética se efectúa mientras se gira el acero fundido en el molde en un plano horizontal y el valor máximo de una velocidad de flujo tangencial de acero fundido se ajusta dentro del intervalo de 0,2-0,8 m/s (en lo sucesivo en ocasiones denominado también como "un tercer aspecto de la invención").

(4) El método de colada continua como se describe anteriormente en cualquiera de (1)-(3), caracterizado por que el ajuste de la velocidad de colada se efectúa en respuesta a cambios significativos en los contenidos en acero fundido de al menos tres elementos seleccionados de entre C, Si, Mn, P, S, Cr, Mo y Ni y un cambio significativo en temperatura de colada (en lo sucesivo en ocasiones denominado también como "un cuarto aspecto de la invención").

(5) El método de colada continua como se describe anteriormente en cualquiera de (1)-(4), caracterizado por que el enfriamiento secundario de la barra se termina en un sitio de al menos 2 m aguas arriba (en la dirección de colada) con relación a la entrada a la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación (en lo sucesivo en ocasiones denominado también como "un quinto aspecto de la invención").

El "sensor de corriente inducida para control de nivel de acero fundido en molde" así denominado en este documento es un sensor de distancia de corriente inducida de uso extendido que se usa para la medición del nivel de superficie de acero fundido de acero fundido y es sensor de nivel de acero fundido constituido de una bobina de transmisión y una bobina de recepción. Este tipo de sensor de nivel de acero fundido se caracteriza, entre otras, por que la precisión en medición del nivel de acero fundido es muy alta.

La "zona de enfriamiento secundaria" significa una zona de enfriamiento ubicada aguas abajo con relación a la salida del molde y que enfría directamente la superficie de barra mediante pulverización.

La "relación de fase sólida en el centro de barra" significa la fracción de la región de fase sólida con relación a toda la región ocupada por la fase sólida y fase líquida en la porción central de la barra.

La expresión "cambio significativo" significa un grado tal de cambio en un factor operacional que ejerce una influencia en la tasa de solidificación de barra, por ejemplo una composición de acero o temperatura de colada, que es suficiente para que la influencia llegue o exceda un cierto nivel prescrito. En valor de los mismos se determina basándose en las experiencias operacionales y resultados de operación reales. Para los contenidos de tales elementos como C, Si, Mn, P, S, Cr, Mo y Ni, es aproximadamente  $\pm 0,001$  a  $\pm 0,01\%$  en masa y, en el caso de temperatura de colada, es aproximadamente  $\pm 2$  a  $\pm 5$  °C. Más adelante en este documento en 2-4 se describirá como reflejar el cambio o cambios en la velocidad de colada.

### Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es un diagrama esquemático que ilustra el método de colada continua de la invención para colar una barra con una sección transversal pequeña.

### Mejores modos para llevar a cabo la invención

#### 1. Constitución básica de la invención

Como se ha mencionado anteriormente, la invención consiste en un método para colada de forma continua de una barra con una sección transversal pequeña en la que la barra tiene un área de sección transversal de no más de 500 cm<sup>2</sup> y una boquilla de inmersión cilíndrica con un único orificio de no menos de 40 mm en diámetro interior se usa para verter un acero fundido en un molde, caracterizado por que: un nivel de superficie de acero fundido se mide usando un sensor de corriente inducida para control de nivel de acero fundido en un molde y el nivel de acero fundido se controla basándose en el valor así medido, y el movimiento de acero fundido en el molde se ajusta proporcionando agitación electromagnética; una zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación, que tiene una longitud de 3-8 m y es continua en la dirección de colada, se proporciona en la región que va desde menisco de acero fundido en el molde a un área que está 15-45 m alejada de la misma en la dirección de colada, y se ajusta una velocidad de colada de modo que la región en la que la relación de fase sólida en el centro de barra es 0,3-0,99 puede incluirse en la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación; la barra se enfría en una segunda zona de enfriamiento, ubicada en el lado aguas arriba con relación a la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación, con agua de refrigeración en una cantidad específica de 0,1-0,8 litros (L)/kg de acero para ajustar de este modo la temperatura de superficie de barra en la entrada de la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación a 900-1200 °C, que la barra se enfría en la zona de enfriamiento durante el periodo

final de solidificación con un agua de enfriamiento en una densidad de 20-300 litros (L)/(min · m<sup>2</sup>) en la superficie de barra; y la barra se corta en un sitio de al menos 1 m aguas abajo con relación a la salida de la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación. A continuación, la materia objeto de la invención se describe en detalle adicional.

5 La Figura 1 es una representación esquemática de la sección transversal vertical para ilustrar el método de colada continua de la invención para colar una barra con una sección transversal pequeña. El acero fundido 2 contenido en una artesa 1 se vierte, a través de una boquilla de inmersión 3, en un molde 4 y enfría con un agua de enfriamiento dentro del molde y con un agua de pulverización secundaria pulverizada desde un aparato de enfriamiento 11 (un grupo de boquillas de pulverización) en una segunda zona de enfriamiento ubicada debajo del molde para formar una barra 9 mientras forma una capa solidificada 7. En este documento, el nivel de superficie (altura) del acero fundido 6 en el molde 4 se mide por medio de un sensor de corriente inducida 5 para control de nivel de fusión y el nivel de acero fundido se controla basándose en el valor medido y, al mismo tiempo, al acero fundido en el molde se proporciona agitación electromagnética mediante un aparato de agitación electromagnética 10 y el movimiento de acero fundido se controla de este modo.

15 La barra 9 que contiene el acero fundido no solidificado 8 en la porción central de la misma se retira en la dirección hacia la derecha en la figura mediante una unidad de rodillo de arrastre 12 y, después de solidificación completa como resultado de enfriamiento con agua pulverizada desde un aparato de enfriamiento 13 en una zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación, la barra se corta mediante un dispositivo de corte de barra (soplete cortador) 14.

## 2. Fundamentos para especificar elementos constitucionales y modos preferidos de realización

### 25 2-1. Primer aspecto de la invención

#### 1) Área de sección transversal de no más de 500 cm<sup>2</sup>

30 Es necesario que el área de sección transversal de la barra no sea de más de 500 cm<sup>2</sup>. Cuando el área de sección transversal supera los 500 cm<sup>2</sup>, se vuelve difícil para el efecto de la invención a producir, a saber el efecto de comprimir el interior de barra utilizando la contracción térmica durante enfriamiento de la superficie de barra. El valor límite inferior al área de sección transversal no se especifica particularmente en este documento. En vista del límite inferior al área de sección transversal en colada continua ordinaria, sin embargo, el área de sección transversal preferentemente es de aproximadamente 150 cm<sup>2</sup> o más.

#### 35 2) Uso de una boquilla de inmersión cilíndrica con un único orificio de no menos de 40 mm de diámetro interior

40 La razón por la que se usa una boquilla de inmersión cilíndrica con un único orificio es que cuando acero fundido se vierte en un molde de colada continua que tiene una sección transversal pequeña de este tipo como se ha mencionado anteriormente, es difícil usar una boquilla de inmersión que tiene una pluralidad de orificios de salida y, para el uso de un sensor de corriente inducida para control de nivel de acero fundido en molde, que se describe más adelante en este documento, es necesario usar la boquilla de inmersión anteriormente especificada. Además, la razón por la que el diámetro interior del único orificio no debería ser menor de 40 mm es que cuando ese diámetro interior es menor de 40 mm, la velocidad de flujo de salida se vuelve excesivamente alta y el efecto anteriormente mencionado de agitación electromagnética para fomentar la formación de cristal equiaxial disminuye. El límite superior al diámetro interior del único orificio no se especifica particularmente. En vista del límite inferior al diámetro interior en colada continua ordinaria de una barra con una sección transversal pequeña, sin embargo, el diámetro interior es preferentemente no más de aproximadamente 80 mm.

#### 50 3) Uso de un sensor de corriente inducida para control de nivel de acero fundido en un molde

55 La razón por la que se usa un sensor de corriente inducida de control de nivel de acero fundido en un molde es como se indica a continuación. Para permitir que la capa solidificada crezca de forma estable y suprimir la fluctuación en relación de fase sólida en el centro de barra en la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación para producir de este modo los efectos de la invención de una manera estable, es necesario usar un sensor de corriente inducida para control de nivel de acero fundido en un molde mediante el cual pueden hacerse mediciones de alta precisión. Con otros sensores de nivel de fusión del tipo de rayo  $\gamma$ , tipo termopar y así sucesivamente, el nivel de sensibilidad de detección de acero fundido es bajo y esas mediciones de nivel de fusión de precisión alta que se requieren en la práctica de la invención nunca pueden realizarse.

60

4) Agitación electromagnética de acero fundido en un molde

Las siguientes dos son las razones por las que el movimiento de acero fundido dentro del molde se ajusta mediante agitación electromagnética. La primera razón es que el efecto de inhibir el desarrollo de porosidad central en el centro de barra puede producirse de manera fiable ajustando la tasa de flujo de acero fundido proporcionando agitación electromagnética para fomentar de este modo la formación de cristales equiaxiales en el centro de barra y por lo tanto aumentar la relación de cristales equiaxiales. La segunda razón es que el efecto de permitir el crecimiento uniforme de la capa solidificada puede obtenerse ajustando el movimiento de acero fundido proporcionando agitación electromagnética.

5) Disposición de una zona de enfriamiento de 3 a 8 m de longitud durante el periodo final de solidificación en la región del menisco de acero fundido a un sitio de 15-45 m alejado de la misma

La razón por la que una zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación se dispone en la región que va desde menisco a un sitio de 15-45 m alejado de la misma es como se indica a continuación. Cuando la distancia del menisco a la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación es más corta de 15 m, la velocidad de colada se vuelve excesivamente baja y la productividad de colada continua disminuye y cuando la distancia del menisco a la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación es más larga de 45 m, la velocidad de colada se vuelve excesivamente alta y se vuelve difícil efectuar operaciones de colada estables. En este documento, el intervalo de velocidad de colada no se especifica particularmente pero se prefiere generalmente desde el punto de vista de la productividad mejorada y operación estable que la operación se efectúe dentro del intervalo de aproximadamente 1,5-4,0 m/min.

La razón por la que la longitud de la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación no debería ser más corta de 3 m es como se indica a continuación. Cuando la longitud en cuestión es más corta de 3 m, no puede lograrse suficiente enfriamiento de barra. La razón por la que la longitud de la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación no debería ser más larga de 8 m es que una longitud que excede 8 m no únicamente hace la zona de enfriamiento innecesariamente larga sino también permite que se produzca flexión de barra como resultado de súper enfriamiento.

6) Ajuste de la velocidad de colada de modo que la región en la que la relación de fase sólida en el centro de barra es 0,3-0,99 puede incluirse en la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación

La razón por la que la velocidad de colada se ajusta de modo que la región en la que la relación de fase sólida en el centro de barra es 0,3-0,99 puede incluirse en la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación es como se indica a continuación. La porosidad central en el centro de barra tiene el punto de iniciación de ocurrencia en la región en la que la relación de fase sólida en el centro de barra es 0,3-0,99 y crece en esa región. Por lo tanto, es efectivo en prevenir la ocurrencia de porosidad central en el centro de barra efectuar el enfriamiento durante el periodo final de solidificación en el periodo de solidificación en el que la relación de fase sólida está dentro del intervalo anterior.

7) Cantidad específica de agua de refrigeración de 0,1-0,8 L/kg de acero en la zona de enfriamiento de barra secundaria y temperatura de superficie de barra de 900-1200 °C en la entrada de la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación

La razón por la que la cantidad específica de agua de refrigeración en la zona de enfriamiento de barra secundaria debería ser 0,1-0,8 L/kg de acero es como se indica a continuación. Cuando la cantidad específica de agua en la zona de enfriamiento secundaria es menor de 0,1 L/kg de acero, la barra se hincha debido a la presión hidrostática de acero fundido y el área de sección transversal de la barra se agranda fácilmente y, por lo tanto, se vuelve difícil predecir o estimar la relación de fase sólida en el centro de barra en la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación. Cuando, por el contrario, la cantidad específica de agua de refrigeración secundaria supera los 0,8 L/kg de acero, el enfriamiento no se vuelve más uniforme y se producen fácilmente fluctuaciones en el grosor de capa solidificada, con el resultado de que la relación de fase sólida en el centro de barra en la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación se vuelve difícil de predecir.

La razón por la que la temperatura de superficie de barra en la entrada de la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación debería ser 900-1200 °C es como se indica a continuación. Cuando la temperatura de superficie de barra en la entrada de la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación es menor de 900 °C, la temperatura de superficie de barra se vuelve excesivamente reducida en la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación y se produce la transformación de fase  $\gamma$  a fase  $\alpha$  y la superficie de barra se expande, de modo que el efecto de reducción de la ocurrencia de porosidad central se disminuye fácilmente. Cuando, a la inversa, la temperatura de superficie de barra en la entrada de la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación es mayor, a saber por encima de 1200 °C, el enfriamiento en la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación no se vuelve más uniforme y se produce fácilmente un enfriamiento desigual y el efecto de reducción de la ocurrencia de porosidad se vuelve inestable.

8) Agua de refrigeración con una densidad de 20-300 L/(min · m<sup>2</sup>) en la superficie de barra en la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación

5 La razón por la que la densidad de agua de refrigeración en la superficie de barra en la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación debería ser 20-300 L/(min · m<sup>2</sup>) es como se indica a continuación. Cuando la densidad de agua de refrigeración es menor de 300 L/(min · m<sup>2</sup>), el efecto de enfriamiento es muy débil para que los efectos de la invención se produzcan completamente y cuando la densidad de agua de refrigeración supera los 300 L/(min · m<sup>2</sup>), la temperatura de superficie de barra se reduce hasta un punto excesivo, se produce la transformación de fase de fase  $\gamma$  a fase  $\alpha$  y la superficie de barra se expande y por lo tanto el efecto de reducción de porosidad central se disminuye fácilmente.

9) Corte de barra en un sitio de al menos 1 m aguas abajo con relación a la salida de la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación

15 La razón por la que la corte de barra se efectúa en un sitio de al menos 1 m aguas abajo con relación a la salida de la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación es como se indica a continuación. Cuando la barra se corta en un sitio dentro de 1 m justo después de la salida de la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación, la barra después de cortarse se dobla fácilmente debido al hecho de que la desigualdad de temperatura de superficie de barra provocada por enfriamiento desigual durante el periodo final de solidificación aún no se ha reducido mediante difusión térmica. Por lo tanto, para evitar la flexión de barra después del corte, es necesario cortar la barra en un sitio de al menos 1 m aguas abajo con relación a la salida de la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación. Es preferible y deseable que el corte de barra se complete en un sitio de al menos 3 m aguas abajo con relación a la salida de la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación. Esto es porque la distribución de temperatura desigual de superficie de barra que resulta a partir de enfriamiento desigual en la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación se convierte entonces suficientemente igual y uniforme debido a difusión térmica y se evita aún más que la barra se doble.

#### 2-2 Segundo aspecto de la invención

30 En el segundo aspecto de la misma, la invención se dirige a un método de colada continua de acuerdo con el primer aspecto de la invención, caracterizado por que las fluctuaciones en nivel de superficie de acero fundido en el molde se controlan dentro de  $\pm 10$  mm, como se describe anteriormente en este documento.

35 La razón por la que las fluctuaciones en nivel de superficie de acero fundido en el molde se controlan preferentemente dentro de  $\pm 10$  mm es que cuando las fluctuaciones en nivel de superficie de acero fundido en el molde se vuelven grandes por encima de  $\pm 10$  mm, el crecimiento de la capa solidificada se vuelve inestable. Si el crecimiento de la capa solidificada se vuelve inestable, las fluctuaciones en relación de fase sólida en el centro de barra en la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación aumentarán y los efectos de la invención, a saber el efecto de reducción de forma estable y fiable de la ocurrencia de porosidad central y el efecto de mejora de la calidad interior de la barra ya no se conseguirán de forma satisfactoria.

45 Para suprimir las cantidades de fluctuación en nivel de superficie de acero fundido dentro de  $\pm 10$  mm, se requieren tales medidas como el uso de un cilindro de escalonamiento de alta responsabilidad en el mecanismo de control de tasa de flujo de acero fundido o la selección de una ganancia de control apropiada además de obtener información altamente precisa acerca del nivel de superficie de acero fundido usando un sensor de corriente inducida para control de nivel de acero fundido en un molde.

#### 2-3. Tercer aspecto de la invención

50 En el tercer aspecto de la misma, la invención se dirige a un método de colada continua de acuerdo con el primer o segundo aspecto de la invención, en el que la agitación electromagnética del acero fundido en el molde se efectúa mientras se gira el acero fundido en un plano horizontal y la velocidad de flujo rotacional máximo del acero fundido se ajusta a un nivel dentro del intervalo de 0,2-0,8 m/s.

55 La razón por la que se provoca un flujo rotacional en un plano horizontal para formar mediante agitación electromagnética es que es preferible desde el punto de vista de suprimir las fluctuaciones en nivel de superficie de acero fundido disponer una bobina electromagnética de modo que un flujo tangencial puede formarse en un plano horizontal en efectuar agitación electromagnética del acero fundido en el molde. La razón por la que el valor máximo de la velocidad de flujo rotacional del acero fundido como se produce mediante agitación magnética está preferentemente dentro del intervalo de 0,2-0,8 m/s es como se indica a continuación. Cuando la velocidad de flujo anteriormente mencionada es menor de 0,2 m/s, es difícil obtener los efectos de agitación electromagnética, a saber el efecto de inhibir la ocurrencia de porosidad central mediante el fomento de formación de cristales equiaxiales y el efecto de permitir que la capa solidificada crezca uniformemente a través del control del movimiento del acero fundido. Por otra parte, cuando la velocidad de flujo anteriormente mencionada supera los 0,8 m/s, las fluctuaciones en nivel de superficie de acero fundido en el molde crecen de forma no favorable hasta un punto excesivo.

En este documento, el valor máximo de la velocidad de flujo rotacional indica la velocidad de flujo del acero fundido en un sitio en el que la velocidad de flujo rotacional del acero fundido se vuelve máxima en el molde dentro de la región de espacio rodeada por la bobina dispuesta para agitación electromagnética.

5 2-4. Cuarto aspecto de la invención

En el cuarto aspecto de la misma, la invención se dirige a un método de colada continua de acuerdo con cualquiera del primer a tercer aspectos de la invención, en el que el ajuste de la velocidad de colada se efectúa en respuesta a cambios significativos en contenidos en acero fundido de al menos tres elementos seleccionados de entre C, Si, Mn, P, S, Cr, Mo y Ni y un cambio significativo en temperatura de colada.

15 El ajuste de la velocidad de colada se efectúa preferentemente teniendo en consideración las influencias de los contenidos en acero fundido de al menos tres elementos seleccionados de entre C, Si, Mn, P, S, Cr, Mo y Ni, y de la temperatura de colada en la tasa de solidificación. La tasa de solidificación (más precisamente la tasa de crecimiento de la capa solidificada) varía con las influencias de la composición del acero fundido y la temperatura de colada. De acuerdo con la experiencia e investigaciones de los presentes inventores, es preferible predecir la tasa de solidificación de la barra con precisión adecuada que los contenidos en acero fundido de al menos tres elementos seleccionados de entre C, Si, Mn, P, S, Cr, Mo y Ni se tengan en consideración con respecto a la composición de

20 acero fundido y la influencia de la temperatura de colada se tengan simultáneamente en consideración.

La tasa de solidificación de la barra se influencia por la disminución de la temperatura de solidificación de equilibrio debido a la segregación de elementos de componentes solubles y los cambios en composición debido a cambios morfológicos de la capa de óxido (escala) en la superficie de barra, y la extensión de las influencias varía dependiendo también de las condiciones operacionales. El descenso de la temperatura de solidificación puede predecirse, por ejemplo, mediante simulación numérica del proceso de solidificación teniendo en consideración la segregación de elementos constituyentes. Por otra parte, el cambio en la tasa de solidificación provocada por cambios en contenidos constituyentes que resultan a partir de los cambios morfológicos de la capa de óxido en la superficie de barra es difícil de predecir mediante cálculos y, por lo tanto, es necesario obtener la tendencia basándose en exámenes de un gran número de barras. Mediante la acumulación abundantemente de los resultados de exámenes como la relación anterior y analizando el proceso de solidificación mediante ajuste de datos usando esos resultados de exámenes, se puede predecir la tasa de solidificación.

Desde el punto de vista de traer la barra apropiada en la relación de fase sólida en el centro en la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación con buena precisión, el ajuste de la velocidad de colada en el cuarto aspecto de la invención se realiza preferentemente en cada momento cuando se aprecia un cambio significativo o cambios en tales factores de efecto en la tasa de solidificación como los contenidos constituyentes anteriormente mencionados y/o temperatura de colada. Más específicamente, los valores analíticos para cada calentamiento (cada cazo) en la etapa final de refinamiento, por ejemplo, se usan como los contenidos constituyentes en el acero fundido y el valor de temperatura de acero fundido medido en la artesa por 30-50 toneladas (t) de colada de acero, por ejemplo, se usa como la temperatura de colada y el ajuste se efectúa preferentemente en cada momento cuando un cambio significativo o cambios en factores de efecto se reconocen.

45 2-5. Quinto aspecto de la invención

En el quinto aspecto de la misma, la invención se dirige a un método de colada continua de acuerdo con el primer a cuarto aspecto de la invención, en el que el enfriamiento secundario de la barra se finaliza en un sitio de al menos 2 m aguas arriba con relación a la entrada a la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación.

50 La razón por la que es preferible finalizar el enfriamiento secundario de la barra en un sitio de al menos 2 m aguas arriba con relación a la entrada a la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación es que completar el enfriamiento secundario en el sitio anteriormente mencionado es deseable para hacer la temperatura de superficie de barra uniforme y aumentar de este modo el efecto de enfriamiento durante el periodo final de solidificación. Más preferentemente, el enfriamiento secundario se completa en un sitio de al menos 5 m aguas arriba con relación a la entrada a la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación.

60 Como se explicó anteriormente, es posible aumentar el efecto de reducción de porosidad central mediante el enfriamiento durante el periodo final de solidificación y estabilizar la operación de colada continua operando mientras se optimizan diversas condiciones en las etapas de alimentación de acero fundido al molde, enfriamiento secundario, enfriamiento durante el periodo final de solidificación y corte de barra.

**Ejemplos**

5 Para confirmar los efectos del método de colada continua de la invención, se efectuaron los siguientes ensayos de colada y se evaluaron los resultados. Las condiciones de ensayo y resultados de ensayo se muestran en la Tabla 1 y las composiciones químicas del acero fundido usadas en cada colada ensayo se muestran en la Tabla 2.

[Tabla 1]

La Tabla 1

Ensayo No.	A	B	C
Clasificación	Ejemplo inventivo	Ejemplo comparativo	Ejemplo comparativo
Tamaño de molde (nominal)	190 mm $\phi$	190 mm $\phi$	310 mm $\phi$
Área de sección transversal de barra	280 cm <sup>2</sup>	280 cm <sup>2</sup>	750 cm <sup>2</sup>
Boquilla de inmersión	Cilíndrica, un único orificio Un único orificio de diámetro interior de 50 mm $\phi$	Ninguna	Cilíndrica, un único orificio Un único orificio de diámetro interior de 60 mm $\phi$
Sensor para nivel de acero fundido en molde	Tipo corriente inducida	Tipo rayo $\gamma$	Tipo corriente inducida
Fluctuación en nivel de acero fundido en molde	$\pm 4$ mm	$\pm 12$ mm	$\pm 3$ mm
Agitación electromagnética en molde	Agitación horizontal Velocidad de flujo tangencial máxima 0,4 m/s	Agitación horizontal Velocidad de flujo tangencial máxima 0,4 m/s	Agitación horizontal Velocidad de flujo tangencial máxima 0,5 m/s
Sitio de zona de enfriamiento durante periodo final de solidificación	Distancia de menisco = 27 m-33 m (longitud 6 m)	Distancia de menisco = 27 m- 33 m (longitud 6 m)	Distancia de menisco = 27 m-33 m (longitud 6 m)
Ajuste de velocidad de colada	Ajuste considerando composiciones químicas del acero fundido, C, Si, Mn, P, S, Cr, Mo y Ni analizadas en la etapa final de refinado en cada calentamiento. Ajuste basándose en temperatura de acero fundido en artesa medida por 30 toneladas de acero vertido.	Únicamente una velocidad de colada (sin ajuste) seleccionada de acuerdo con composiciones químicas típicas de acero fundido (C, Si, Mn, P, S, Cr) para cada grado de acero.	-
Densidad de agua de refrigeración durante periodo final de solidificación	130 L/(min· m <sup>2</sup> )	130 L/(min· m <sup>2</sup> )	0
Distancia desde extremo de enfriamiento secundario a inicio de enfriamiento durante periodo final de solidificación	19 m	19 m	-
Cantidad específica de agua de refrigeración secundaria	0,4 L/kg de acero	0,4 L/kg de acero	0,6 L/kg de acero
Temperatura de superficie de barra en entrada a zona de enfriamiento durante periodo final de solidificación	1100 °C	1100 °C	-
Distancia desde salida de zona de enfriamiento durante periodo final de solidificación a sitio de finalización de corte de barra	3,5 m	3,5 m	-
Tasa de defectos de superficie interior en tubería sin soldadura	0,1 %	7,0 %	-

[Tabla 2]

La Tabla 2

Composición química de acero (% en masa, siendo el equilibrio Fe e impurezas)								
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	sol.Al
0,12	0,28	0,55	0,008	0,002	1,07	0,31	0,20	0,003
-0,14	-0,32	-0,63	-0,014	-0,006	-1,11	-0,37	-0,24	-0,006

5 Ya que la composición de acero fundido real varió entre calentamiento y calentamiento, de modo que el intervalo de fluctuación en cada composición química de acero se proporciona en la Tabla 2.

10 El Ensayo N.º A es un ensayo para un ejemplo inventivo y, ya que todos los requisitos prescritos en este documento se satisfacen, es un ensayo en el que pueden obtenerse barras con porosidad central suprimida en el centro de barra.

15 Como para las condiciones de colada, la temperatura de colada, a saber el grado de súper calentamiento de acero fundido (temperatura de acero fundido en artesa - temperatura líquida de acero), era de 35-60 °C, y la velocidad de colada es una colada de estado constante era de 2,7 m/min de media. En el Ensayo N.º A, la velocidad de colada se ajustó dentro del intervalo de  $\pm 0,1$  m/min con la precisión de 0,01 m/min de acuerdo con la composición de acero fundido y temperatura de colada de modo que la región en la que la relación de fase sólida en el centro de barra era de 0,3 a 0,99 pudo incluirse en la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación.

20 Como resultado, en el Ensayo N.º A, la ocurrencia de porosidad en el centro de barra pudo reducirse de manera fiable en condiciones de operación estables y la calidad interior de la barra pudo mejorarse de forma altamente fiable. Se produjeron tuberías de acero sin soldaduras usando las barras así coladas y se sometieron a examen de calidad interior; el resultado fue excelente, a saber la tasa de defectos de superficie interior fue del 0,1 %.

25 La tasa de defectos de superficie interior se determinó dividiendo el número de tubos evaluados "no conformes" con inspección visual para superficie interior de tubería por el número total de tuberías sometidas a inspección visual y convirtiendo el cociente al correspondiente porcentaje.

30 Por el contrario, el Ensayo N.º B es un ensayo para un ejemplo comparativo fuera los intervalos prescritos en el primer aspecto de la invención. En el Ensayo N.º B, el método de alimentación de acero fundido abierto se empleó sin usar ninguna boquilla de inmersión y por lo tanto el sensor de corriente inducida para control de nivel de acero fundido en un molde no podía aplicarse. Como resultado, las fluctuaciones en nivel de superficie de acero fundido fueron grandes y el crecimiento de la capa solidificada fue inestable. Además, en el Ensayo N.º B, la velocidad de colada se predeterminó meramente para cada grado de acero, de modo que las influencias de las fluctuaciones en la composición de acero fundido y/o en temperatura de colada para cada calentamiento no podían reflejarse en el ajuste de la velocidad de colada.

40 Como resultado, en el Ensayo N.º B, el efecto para reducir la ocurrencia de porosidad central en el centro de barra se disminuyó debido a los factores de poco fiables e inestables anteriormente mencionados y, además, la operación se volvió inestable y la rotura de la capa solidificada se produjo frecuentemente. Además, tuberías sin soldadura se produjeron usando las barras así coladas y sometieron a examen de calidad de superficie interior; los resultados fueron inferiores, a saber la tasa de defectos de superficie interior fue del 7%.

45 El Ensayo N.º C es un ensayo para un ejemplo comparativo en el que el área de sección transversal era demasiado grande para satisfacer el requisito pertinente prescrito en este documento y que por lo tanto no es apto para efectuar el método de colada continua de acuerdo con la invención. En el Ensayo N.º C, no se aplicó la técnica de reducción de la ocurrencia de porosidad debido al enfriamiento durante el periodo final de solidificación, de modo que se produjo una porosidad central masiva en el centro de barra.

### 50 Aplicabilidad industrial

55 De acuerdo con el método de la invención para la colada de forma continua de una barra con una sección transversal pequeña, la ocurrencia de porosidad en el centro de barra puede reducirse de forma estable y puede aumentarse la fiabilidad en la mejora de la calidad interior de barra vertiendo acero fundido en un molde usando una boquilla de inmersión cilíndrica con un único orificio, midiendo el nivel de superficie de acero fundido en el molde usando un sensor de corriente inducida y controlando el nivel de superficie de acero fundido basándose en el valor así medidos, ajustando el movimiento de acero fundido en el molde mediante agitación electromagnética, prescribiendo el sitio y longitud de la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación, ajustando la velocidad de colada de modo que la región en la que la relación de fase sólida en el centro de barra está dentro de un intervalo especificado puede incluirse en la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación y, además, optimizando la cantidad específica de agua de refrigeración en la zona de enfriamiento de barra secundaria, la temperatura de superficie de barra en la entrada de la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación y la densidad de agua de refrigeración en la zona de enfriamiento durante el periodo final de

solidificación, entre otros.

5 Por lo tanto, el método de la invención sirve como una tecnología capaz de aplicarse ampliamente como un método de colada continua por el que puede aumentarse el efecto de reducción de la ocurrencia de porosidad central debido al enfriamiento durante el periodo final de solidificación y la operación de colada puede estabilizarse como resultado de efectuar la operación mientras optimiza diversas condiciones operacionales a través de las etapas de alimentación de acero fundido al molde, enfriamiento secundario, enfriamiento durante el periodo final de solidificación y corte de barra.

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método para colada de forma continua de una barra (9) con una sección transversal pequeña en la que la barra tiene un área de sección transversal de no más de 500 cm<sup>2</sup> y se usa una boquilla de inmersión cilíndrica con un único orificio de no menos de 40 mm de diámetro interior para verter un acero fundido (2) en un molde (4), **caracterizado por que:**
- 10 un nivel de superficie de acero fundido (2) se mide usando un sensor de corriente inducida para control de nivel de acero fundido en un molde y el nivel de acero fundido se controla basándose en el valor así medido y el movimiento de acero fundido en el molde se ajusta aplicando agitación electromagnética;
- 15 una zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación, que tiene una longitud de 3-8 m y es continua en la dirección de colada, se proporciona en la región que se encuentra a 15-45 m de distancia del menisco de acero fundido (2) en el molde (4) en la dirección de colada, y una velocidad de colada se ajusta de modo que la región en la que la relación de fase sólida en la porción central de la barra es 0,3-0,99 se incluye en la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación;
- 20 la barra (9) se enfría en una segunda zona de enfriamiento, ubicada en el lado aguas arriba con relación a la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación, con un agua de enfriamiento en una cantidad específica de 0,1-0,8 litros (L)/kg de acero para ajustar de este modo una temperatura de superficie de barra en la entrada de la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación a 900-1200 °C;
- la barra (9) se enfría en la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación con el agua de enfriamiento en una densidad de 20-300 litros (L)/(min · m<sup>2</sup>) en la superficie de barra; y
- la barra (9) se corta en un sitio de al menos 1 m aguas abajo con relación a la salida de la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación.
- 25 2. El método de colada continua de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** las fluctuaciones en nivel de superficie de acero fundido (2) en el molde (4) están controladas dentro de ±10 mm.
- 30 3. El método de colada continua de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** la agitación electromagnética se efectúa mientras el acero fundido (2) en el molde (4) se gira en un plano horizontal y el valor máximo de la velocidad de flujo tangencial de acero fundido se ajusta dentro del intervalo de 0,2-0,8 m/s.
- 35 4. El método de colada continua de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** el enfriamiento secundario de la barra (9) se termina en un sitio de al menos 2 m aguas arriba con relación a la entrada a la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación.
5. El método de colada continua de acuerdo con la reivindicación 3, **caracterizado por que** el enfriamiento secundario de la barra (9) se termina en un sitio al menos 2 m aguas arriba con relación a la entrada a la zona de enfriamiento durante el periodo final de solidificación.

Fig.1

