

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 743 813**

51 Int. Cl.:

**B22D 11/16** (2006.01)

**B22D 11/18** (2006.01)

**G01F 23/22** (2006.01)

**B22D 11/041** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.10.2015 PCT/JP2015/079040**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.04.2016 WO16060164**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.10.2015 E 15851433 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.06.2019 EP 3208014**

54 Título: **Aparato, método y programa para detectar el nivel de la superficie de metal fundido en un molde de fundición continua**

30 Prioridad:

**15.10.2014 JP 2014210712**

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

**20.02.2020**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**NAKAGAWA, JUNICHI y  
HIRAMOTO, YUUJI**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 743 813 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

Aparato, método y programa para detectar el nivel de la superficie de metal fundido en un molde de fundición continua

### Campo técnico

5 La presente invención se refiere a un aparato, a un método y a un programa para detectar el nivel de la superficie de metal fundido en un molde de fundición continua y se usa convenientemente para detectar el nivel de la superficie de metal fundido en el molde de fundición continua.

### Antecedentes

10 En el funcionamiento de una instalación de fundición continua es necesario detectar el nivel de la superficie de metal fundido en el molde de fundición continua y controlar de manera estable el nivel de la superficie de metal fundido. Esto se debe a que la calidad interna de una plancha fundida puede mejorarse evitándose el rebosamiento de acero fundido y la aparición de sustancias suspendidas. El nivel de la superficie de metal fundido se refiere a la posición en altura de la superficie del acero fundido. Como técnica para detectar el nivel de la superficie de metal fundido en el molde de fundición continua hay técnicas descritas en las literaturas de patentes 1, 2. Obsérvese que el molde de fundición continua se abrevia como molde cuando es necesario en la siguiente descripción.

15 En la literatura de Patente 1, se describe la siguiente técnica. Se embute una pluralidad de elementos de medición de la temperatura en el molde a intervalos regulares a lo largo de la dirección de la fundición del molde (la dirección en altura del molde). Se calcula la velocidad de cambio en el tiempo de la temperatura en un punto de cada elemento de medición de la temperatura para detectar un elemento (n) de medición de la temperatura que presente el valor máximo de la velocidad de cambio en el tiempo. Se obtiene una posición que muestra el valor máximo de una curva cuadrática que vincula la velocidad de cambio en el tiempo del elemento (n) de medición de la temperatura y las velocidades de cambio en el tiempo de dos elementos (n - 1), (n + 1) de medición de la temperatura adyacentes al elemento (n) de medición de la temperatura y la posición se considera como el nivel de la superficie de metal fundido.

20 Además, en la literatura de Patente 2, se describe la siguiente técnica. Se embute una pluralidad de termopares en el molde a intervalos a lo largo de la dirección de la fundición del molde (la dirección en altura del molde). Para detectar el nivel de la superficie de metal fundido, primero se proporciona una distribución inicial de temperatura y se decide un nivel temporal de la superficie de metal fundido (posición de la división). Con la decisión del nivel temporal de la superficie de metal fundido, se calculan el flujo de calor máximo y el flujo de calor mínimo en el nivel temporal de la superficie de metal fundido por análisis de los problemas inversos de conducción de calor usando los cambios de temperatura medidos por los termopares. El flujo de calor máximo y el flujo de calor mínimo en el nivel temporal de la superficie de metal fundido se calculan con el nivel temporal de la superficie de metal fundido cambiado. Entre las posiciones calculadas de los niveles temporales de la superficie de metal fundido, el nivel temporal de la superficie de metal fundido donde la diferencia entre el flujo de calor máximo y el flujo de calor mínimo definida realizando experimentos con antelación es la más pequeña se considera como el nivel de la superficie de metal fundido real. La patente japonesa JP2004025202A es otro ejemplo de aparato para detectar una superficie de metal fundido conocido en la técnica anterior.

### Lista de citaciones

#### Literatura de Patentes

Literatura de Patente 1: Publicación de Patente Japonesa abierta a la inspección pública número 53-26230

Literatura de Patente 2: Patente Japonesa número 4681127

### 40 Sumario de la invención

#### Problema técnico

45 Sin embargo, la técnica descrita en la literatura de Patente 1 se basa en la regla empírica de que la posición donde la temperatura en la dirección de la fundición del molde es máxima existe cerca de la superficie de metal fundido y esta posición está en una cierta correlación con el nivel de la superficie de metal fundido. En el caso basado en la regla empírica como se describió anteriormente, la precisión de la detección del nivel de la superficie de metal fundido puede disminuir.

50 Además, en la técnica descrita en la literatura de Patente 2, el valor inicial (condición inicial) de la distribución de temperaturas es necesariamente cuando se analizan los problemas inversos de conducción de calor por la ecuación de conducción de calor no estacionaria. Además, el flujo de calor en la dirección de la fundición se calcula como un valor discreto. De acuerdo con esto, también en la técnica descrita en la literatura de Patente 2, la precisión de la detección del nivel de la superficie de metal fundido puede disminuir. En particular, cuando el estado del acero fundido en el interior del molde cambia rápidamente para incrementar el cambio temporal del flujo de calor, la precisión de la detección del nivel de la superficie de metal fundido puede disminuir.

La presente invención se ha hecho considerando los puntos anteriores y su objeto es incrementar la precisión de la detección del nivel de la superficie de metal fundido en el molde de fundición continua.

**Solución al problema**

5 Un aparato para detectar el nivel de la superficie de metal fundido en un molde de fundición continua de la presente invención, según la reivindicación 1, incluye: un medio de adquisición de temperatura que adquiere las temperaturas medidas por una pluralidad de medios de medición de la temperatura embutidos en el molde de fundición continua a lo largo de la dirección de la fundición del molde de fundición continua; un medio de derivación del flujo de calor del que deriva un valor de un componente en la dirección de la fundición de un vector de flujo de calor en la superficie interior de una pared del molde de fundición continua, basado en un resultado del análisis de problemas inversos de conducción de calor no estacionaria a partir de las temperaturas derivadas por el medio de adquisición de temperatura, y un medio de derivación del nivel de la superficie de metal fundido del que deriva un nivel de la superficie de metal fundido en el interior del molde de fundición continua, basado en el valor del componente en la dirección de la fundición del vector de flujo de calor en la superficie interior de la pared del molde de fundición continua, derivado por el medio de derivación de flujo de calor, en donde del medio de derivación del nivel de la superficie de metal fundido deriva, como nivel de la superficie de metal fundido, una posición donde un valor absoluto del valor del componente en la dirección de la fundición del vector de flujo de calor, cuyo vector del componente en la dirección de la fundición está en una dirección opuesta a la dirección de la fundición, es máximo.

20 Un método para detectar el nivel de la superficie de metal fundido en un molde de fundición continua de la presente invención según la reivindicación 8: un paso de adquisición de la temperatura para adquirir las temperaturas medidas por una pluralidad de pasos de medición de temperatura embutidos en el molde de fundición continua a lo largo de la dirección de la fundición del molde de fundición continua; un paso de derivación del flujo de calor para derivar un valor de un componente en la dirección de la fundición de un vector de flujo de calor en una superficie interior de la pared del molde de fundición continua, basado en un resultado del análisis de problemas inversos de conducción de calor no estacionaria a partir de las temperaturas derivadas por el paso de adquisición de temperatura y un paso de derivación del nivel de la superficie de metal fundido para derivar un nivel de la superficie de metal fundido en el interior del molde de fundición continua, basado en el valor del componente en la dirección de la fundición del vector de flujo de calor en la superficie interior de la pared del molde de fundición continua derivado por el paso de derivación del flujo de calor, en donde del paso de derivación del nivel de la superficie de metal fundido deriva, como nivel de la superficie de metal fundido, una posición donde un valor absoluto del valor del componente en la dirección de la fundición del vector de flujo de calor, cuyo vector del componente en la dirección de la fundición está en una dirección opuesta a la dirección de la fundición, es máximo.

35 Un programa de la presente invención según la reivindicación 9 hace que un ordenador ejecute: un paso de adquisición de temperatura para adquirir las temperaturas medidas por una pluralidad de pasos de medición de la temperatura embutidos en un molde de fundición continua a lo largo de la dirección de la fundición del molde de fundición continua; un paso de derivación del flujo de calor para derivar un valor de un componente en la dirección de la fundición de un vector de flujo de calor en una superficie interior de la pared del molde de fundición continua, basado en el resultado del análisis de problemas inversos de conducción de calor no estacionaria a partir de las temperaturas derivadas por el paso de adquisición de la temperatura y un paso de derivación del nivel de la superficie de metal fundido para derivar el nivel de la superficie de metal fundido en el interior del molde de fundición continua, basado en el valor del componente en la dirección de la fundición del vector de flujo de calor en la superficie interior de la pared del molde de fundición continua derivado por el paso de derivación del flujo de calor, en donde del paso de derivación del nivel de la superficie de metal fundido deriva, como el nivel de la superficie de metal fundido, una posición donde un valor absoluto del valor del componente en la dirección de la fundición del vector de flujo de calor, cuyo vector del componente en la dirección de la fundición está en una dirección opuesta a la dirección de la fundición, es máximo.

**45 Efectos ventajosos de la invención**

Según la presente invención, es posible incrementar la precisión de la detección del nivel de la superficie de metal fundido en el molde de fundición continua.

**Breve descripción de los dibujos**

50 [Figura 1] La figura 1 es una vista que ilustra un ejemplo de una configuración de un sistema para detectar el nivel de la superficie de metal fundido en un molde de fundición continua.

[Figura 2] La figura 2 es un diagrama que ilustra un ejemplo de una configuración funcional del aparato para detectar el nivel de la superficie de metal fundido en el molde de fundición continua.

[Figura 3A] La figura 3A es un cuadro que ilustra un ejemplo de una sección transversal bidimensional de un espacio x - tiempo t de un sistema de coordenadas de problemas inversos de conducción de calor no estacionaria.

55 [Figura 3B] La figura 3B es un cuadro que ilustra un ejemplo de una sección transversal bidimensional de un espacio x - espacio y del sistema de coordenadas de los problemas inversos de conducción de calor no estacionaria.

[Figura 4] La figura 4 es un diagrama de flujo para explicar un ejemplo de la operación del aparato de detección del nivel de la superficie de metal fundido.

[Figura 5] La figura 5 es un diagrama que ilustra un ejemplo de una configuración del *hardware* del aparato de detección del nivel de la superficie de metal fundido.

5 [Figura 6] La figura 6 es una vista que ilustra las posiciones de los termopares en un ejemplo.

[Figura 7A] La figura 7A es un cuadro que ilustra de manera conceptual un ejemplo de la relación entre un valor de un componente en la dirección del eje y de un vector de flujo de calor en la superficie interior de la pared del molde y una posición en una dirección del eje y.

10 [Figura 7B] La figura 7B es un cuadro que ilustra de manera conceptual la relación entre una temperatura en el molde y la posición en la dirección del eje y.

[Figura 8] La figura 8 es una vista que ilustra un ejemplo de una configuración de un aparato para medir de manera real el nivel de la superficie de metal fundido.

15 [Figura 9] La figura 9 es una vista que ilustra un nivel de la superficie de metal fundido detectado en un ejemplo inventivo, un nivel de la superficie de metal fundido detectado por un método existente y un nivel de la superficie de metal fundido medido de manera real.

### Descripción de las realizaciones

(Sistema de detección del nivel de la superficie de metal fundido en un molde de fundición continua)

20 La figura 1 es una vista que ilustra un ejemplo de una configuración de un sistema para detectar el nivel de la superficie de metal fundido en un molde de fundición continua. La figura 1 ilustra una sección transversal de una máquina de fundición continua obtenida por corte a lo largo de la dirección de la altura (una dirección en el eje y).

En la figura 1, la máquina de fundición continua presenta un embudo 11, una boquilla 12 de inmersión, un molde 13 y rodillos 14a a 4d de tracción. Obsérvese que la máquina de fundición continua puede hacerse funcionar por una técnica públicamente conocida. De acuerdo con esto, la descripción detallada de la máquina de fundición continua se omitirá aquí.

25 El embudo 11 almacena temporalmente el metal M fundido suministrado desde una cuchara.

30 El molde 13 está dispuesto por debajo del embudo 11 con un hueco intermedio entre el molde 13 y el embudo 11. El molde 13 tiene, por ejemplo, dos partes 13a, 13b laterales cortas y dos partes laterales largas. Las dos partes 13a, 13b, laterales cortas están dispuestas con un hueco intermedio entre ellas para que se opongan entre sí en la dirección de la anchura (una dirección en el eje x). Las dos partes laterales largas están dispuestas con un hueco intermedio entre ellas para que se opongan entre sí en la dirección de la profundidad (una dirección perpendicular al eje x y al eje y). Una región rodeada por las dos partes laterales largas y las dos partes 13a, 13b, laterales cortas se convierte en una región en forma de paralelepípedo rectangular vacío. Esta región se convierte en una región en el interior del molde 13. Además, se forma una ranura en la superficie exterior de la pared del molde 13. El molde 13 se enfría con el agua que corre por la ranura. Obsérvese que solo las dos partes laterales cortas de las partes laterales largas y las partes laterales cortas se ilustran en la figura 1 para ilustración.

35 La boquilla 12 de inmersión inyecta el metal M fundido almacenado en el embudo 11 al interior del molde 13. La boquilla 12 de inmersión se dispone de manera que su extremo de base esté situado en la superficie del fondo del embudo 11 y una región predeterminada en el lado del extremo de la punta se sitúa en el interior del molde 13. Además, el interior de la boquilla 12 de inmersión y el interior del embudo 11 se comunican entre sí. Obsérvese que la cantidad suministrada del metal M fundido que tiene que suministrarse desde el embudo 11 a la boquilla 12 de inmersión se ajusta por una boquilla deslizante o un tapón.

40 Se dispone una pluralidad de pares de rodillos 14a a 14d de tracción a lo largo de una vía de transporte para extraer acero abajo del molde 13. Obsérvese que solo se ilustran dos pares de rodillos 14a a 14d de tracción en la figura 1. Sin embargo, actualmente se disponen más rodillos de tracción de acuerdo con la longitud de la vía de transporte. Fuera de los rodillos 14a a 14d de tracción, se dispone una pluralidad de pulverizadores de enfriamiento. La pluralidad de pulverizadores de enfriamiento pulveriza agua de enfriamiento para enfriar el acero extraído abajo del molde 13, al acero.

45 Como se describió anteriormente, el metal fundido inyectado en el interior del molde 13 es enfriado por el molde 13 y solidificado debido a la formación de conchas 15a, 15b, solidificadas desde su superficie. El acero que tiene una superficie que son las conchas 15a, 15b, solidificadas y un interior que no está solidificado es retirado de manera continua desde una porción del extremo inferior del molde 13 mientras está intercalado entre los rodillos 14a a 14d de tracción. En el procedimiento de extracción del molde 13 de esta manera, el agua de enfriamiento pulverizada desde los pulverizadores de enfriamiento actúa enfriando el acero para que solidifique el acero hasta el interior. El acero solidificado, así, se corta en un tamaño predeterminado en el lado aguas abajo de la máquina de fundición continua,

50

por lo cual se fabrica una plancha de fundición diferente en conformación de la sección transversal tal como una plancha, palanquilla, barra lingote de sección cuadrada o similar.

En la fabricación de la plancha de fundición por la máquina de fundición continua como se describió anteriormente, se añade polvo 17 como sea necesario al metal fundido en el interior del molde 13. Existe una película delgada del polvo 17 también entre una superficie interior de la pared del molde 13 y las conchas 15a, 15b, solidificadas, así como en la superficie del metal fundido en el interior del molde 13. La adición del polvo 17 de esta manera consigue la retención de calor del metal fundido, la prevención de la oxidación del metal fundido, la absorción de la inclusión en el metal fundido, el aseguramiento de la lubricidad de las conchas 15a, 15b, solidificadas y el ajuste de la eliminación de calor del metal fundido. La generación uniforme de las conchas 15a, 15b, solidificadas cerca del menisco en el molde 13 de la manera anterior evita el agrietamiento de la superficie de las conchas 15a, 15b, solidificadas y evita el gripado entre el molde 13 y las conchas 15a, 15b, solidificadas.

En el molde 13, se embute una pluralidad de termopares 18 a lo largo de la dirección de la fundición (la dirección del eje y). El número de la pluralidad de termopares 18 es preferiblemente tres o más. De acuerdo con la precisión del cálculo de un flujo de calor descrito más adelante, puede decidirse el número de la pluralidad de termopares 18 y el intervalo entre dos termopares 18 adyacentes. Además, en el ejemplo ilustrado en la figura 1, se embute la pluralidad de termopares 18 en una región relativamente más próxima a la superficie interior de la pared de la superficie interior de la pared y la superficie exterior de la pared del molde 13. Sin embargo, la pluralidad de termopares 18 no siempre requiere que se embutan en dicha región siempre que esté embutidos en el molde 13. Como se ilustra en la figura 1, se describirá un caso en que se embute la pluralidad de termopares 18 en la parte 13a lateral corta como ejemplo en esta realización. Sin embargo, puede embutirse una pluralidad de termopares en al menos una cualquiera de: la parte 13b lateral corta y las dos partes laterales largas además de, o en vez de, la parte 13a lateral corta. La superficie interior de la pared del molde 13 se denomina una superficie de funcionamiento y la superficie exterior de la pared del mismo se denomina una superficie enfriada con agua. La superficie en contacto con el metal fundido de las superficies del molde 13 es la superficie de funcionamiento. Sin embargo, en el caso en que se añade el polvo 17 como se ilustra en la figura 1, la superficie en contacto con el polvo 17 de las superficies del molde 13 es la superficie de funcionamiento.

(Aparato 200 para detectar el nivel de la superficie de metal fundido en un molde de fundición continua).

La figura 2 es un diagrama que ilustra un ejemplo de una configuración funcional del aparato 200 para detectar el nivel de la superficie de metal fundido en el molde de fundición continua. El aparato para detectar el nivel de la superficie de metal fundido en el molde de fundición continua se abrevia como un aparato de detección del nivel de la superficie de metal fundido como sea necesario.

El aparato 200 de detección del nivel de la superficie de metal fundido analiza los problemas inversos de conducción de calor no estacionaria usando las temperaturas medidas por la pluralidad de termopares 18. Los problemas inversos de conducción de calor no estacionaria en la presente memoria se refieren a un problema de estimación de una condición límite o una condición inicial tal como la temperatura y el flujo de calor en una región límite habiéndose conocido la información de la temperatura en el interior de la región, basándose en la ecuación de conducción de calor no estacionaria que domina un área de cálculo. En contraste a esto, los problemas de progreso de la conducción de calor no estacionaria se refieren a un problema de estimación de la información de la temperatura en el interior de la región, basándose en una condición límite conocida.

El aparato 200 de detección del nivel de la superficie de metal fundido calcula el valor de un componente en la dirección del eje y (la dirección de la fundición del molde 13) de un vector de flujo de calor en la superficie interior de la pared del molde 13 usando una función de interpolación/extrapolación de temperatura obtenida analizando los problemas inversos de conducción de calor no estacionaria. Como se describirá más adelante, la función de interpolación/extrapolación de temperatura es una función que indica la temperatura del molde 13 en una posición (x, y) y un tiempo t.

El aparato 200 de detección del nivel de la superficie de metal fundido detecta un nivel de la superficie de metal fundido basándose en el valor de un componente en la dirección del eje y del vector de flujo de calor en la superficie interior de la pared del molde 13. El nivel de la superficie de metal fundido es la posición en altura (una posición en la dirección del eje y) de la superficie del metal fundido en el interior del molde 13.

La función del molde 13 es el enfriamiento y la solidificación del metal fundido. Por lo tanto, en la discusión de la detección del nivel de la superficie de metal fundido analizando los problemas inversos de conducción de calor no estacionaria, el comportamiento del flujo de calor en la dirección del eje x (una dirección de eliminación de calor del molde 13) ha llamado la atención, mientras que el comportamiento del flujo de calor en dirección del eje y (la dirección de la fundición del molde 13) no ha llamado la atención. Además, el valor del componente en la dirección del eje y del vector de flujo de calor es menor que el valor de un componente en la dirección del eje x. Por lo tanto, por el método de la derivación del flujo de calor tomando un valor discreto como en la técnica descrita en la literatura de Patentes 2, si se usa el valor del componente en la dirección del eje y del vector de flujo de calor, el error se incrementa, ocasionando una disminución adicional en la precisión del cálculo del flujo de calor. A partir de lo anterior, en el caso de derivación del flujo de calor del molde 13 analizando los problemas inversos de conducción de calor no estacionaria

incluyendo el caso de detectar el nivel de la superficie de metal fundido analizando los problemas inversos de conducción de calor no estacionaria, se ha usado hasta ahora el valor del componente en la dirección del eje x del vector de flujo de calor.

5 En contraste con lo anterior, los presentes autores han ideado detectar el nivel de la superficie de metal fundido basándose en la presunción de que «en el interior de la superficie del metal fundido del molde 13, la magnitud del vector en una dirección opuesta (es decir, enfrentando la dirección normal a la superficie del metal fundido) a la dirección de la fundición del vector del componente en la dirección del eje y del vector de flujo de calor llega a ser grande cuando se compara con la de la otra porción del molde 13 debido a la influencia de la eliminación de calor por el polvo 17» debido a que el polvo 17 se suministra en la superficie del metal fundido en el interior del molde 13. Bajo esa idea, se ha realizado el aparato 200 de detección del nivel de la superficie de metal fundido en esta realización. De ahora en adelante, se describirá un ejemplo de una configuración concreta del aparato 200 de detección del nivel de la superficie del metal fundido en esta realización.

15 El aparato 200 de detección del nivel de la superficie de metal fundido tiene una unidad 201 de adquisición de temperatura, una unidad 202 de derivación del flujo de calor, una unidad 203 de derivación del nivel de la superficie de metal fundido y una unidad 204 de salida.

<Unidad 201 de adquisición de temperatura>

20 La unidad 201 de adquisición de temperatura recibe la entrada de las temperaturas [K] medidas por la pluralidad de termopares 18 y produce la salida de las temperaturas medidas al mismo tiempo por la pluralidad de los termopares 18. La unidad 201 de adquisición de la temperatura realiza dicha salida de las temperaturas para cada tiempo de muestreo predeterminado. Por ejemplo, la unidad 201 de adquisición de temperatura recibe la entrada y las salidas de las temperaturas medidas por la pluralidad de los termopares 18 cada vez que transcurre el tiempo de muestreo.

<Unidad 202 de derivación de flujo de calor >

25 Basándose en las temperaturas que salen de la unidad 201 de adquisición de temperatura, se usa una función  $u^{\wedge}(x, y, t)$  de interpolación/extrapolación de la temperatura para estimar la temperatura del molde 13 para hacer una expresión matemática para predecir el cambio temporal en la distribución de temperatura en una sección transversal bidimensional en la dirección de la fundición (la dirección del eje y) - la dirección de eliminación de calor (la dirección del eje x) del molde 13.

30 La figura 3A es un cuadro que ilustra un ejemplo de un sistema de coordenadas de los problemas inversos de conducción de calor no estacionaria. La figura 3A ilustra un punto de definición de la cantidad de información en la sección transversal bidimensional de un espacio x - tiempo t en una cierta posición en la dirección del eje y. La figura 3B es también un cuadro que ilustra un ejemplo del sistema de coordenadas de los problemas inversos de conducción de calor no estacionaria. La figura 3B ilustra un punto de definición de la cantidad de información en la sección transversal bidimensional de un espacio x - espacio y a un cierto tiempo t. La figura 3A y la figura 3B ilustran las secciones transversales bidimensionales de las mismas coordenadas tridimensionales (coordenadas de un espacio x - espacio y - tiempo t).

35 En la figura 3A y la figura 3B, el eje x es un eje donde la superficie interior de la pared del molde 13 es  $x = 0$ , e indica la posición en la dirección de eliminación del calor del molde 13. El eje y es un eje donde el extremo superior del molde 13 es  $y = 0$  e indica la posición en la dirección de la fundición del molde 13. El eje x y el eje y son ejes espaciales. El eje t es un eje de tiempo.

40 En la figura 3A y la figura 3B, las gráficas indicadas por círculos negros son puntos de definición de las cantidades de información, respectivamente. El punto de definición de la cantidad de información indica la posición del termopar 18 y el tiempo cuando se mide la temperatura por el termopar 18. La cantidad de información en el punto de definición incluye la temperatura medida por el termopar 18.

45 Las representaciones gráficas indicadas por líneas discontinuas son también puntos de definición de las cantidades de información, respectivamente. El punto de definición de la cantidad de información indica la posición en la superficie exterior de la pared del molde 13 y el tiempo cuando se estima el flujo de calor en la superficie exterior de la pared. En esta realización, se describirá como un ejemplo un caso en que no se proporciona un medio para medir la temperatura tal como el termopar en la superficie exterior de la pared del molde 13. Por lo tanto, la cantidad de información en el punto de definición se considera como el flujo de calor decidido con un coeficiente  $\gamma$  de transferencia de calor entre el material que constituye el molde 13 y agua y siendo conocida la temperatura  $u_w$  del agua.

55 Las representaciones gráficas indicadas por los círculos negros y las representaciones gráficas indicadas por las líneas discontinuas en lo anterior se usan como puntos de definición de las cantidades de información. Más específicamente, cada uno de los puntos en las coordenadas tridimensionales del eje x - el eje y - el eje t representados por las representaciones gráficas indicadas por los círculos negros y las representaciones gráficas indicadas por las líneas discontinuas ilustradas en la figura 3A y las representaciones gráficas indicadas por los círculos negros y las representaciones gráficas indicadas por las líneas discontinuas ilustradas en la figura 3B es el punto de definición de la cantidad de información.

En la figura 3A, un momento  $t_N$  es un momento cuando se midieron las últimas temperaturas por la pluralidad de termopares 18. En la figura 3A, se describirá como ejemplo un caso donde cada tiempo se adquieren las temperaturas medidas por la pluralidad de termopares 18, se emplean siete momentos de medición de la temperatura (siete momentos tales como los momentos  $t_0$  a  $t_N$ ) en secuencia a partir de uno nuevo como tiempo  $t$  cuando se decide el punto de definición de la cantidad de información. Más específicamente, cuando las temperaturas medidas por la pluralidad de termopares 18 se adquieren recientemente, la unidad 202 de derivación de flujo de calor excluye el punto de definición de la cantidad de información incluyendo el momento de medición de temperatura más antigua de los siete momentos de medición de la temperatura, a partir de los siete puntos de definición de las cantidades de información. La unidad 202 de derivación del flujo de calor añade, entonces, el punto de definición de la cantidad de información incluyendo el momento de la medición de la temperatura última a los siete puntos de definición de las cantidades de información. Obsérvese que el número de los tiempos  $t$  que decide los puntos de definición de las cantidades de información no se limita a siete.

Además, en la figura 3B, se ilustrará como ejemplo un caso donde se disponen siete termopares 18 a intervalos regulares a lo largo de la dirección del eje y como la pluralidad de termopares 18. Sin embargo, no se requiere que el intervalo entre dos termopares 18 adyacentes entre sí sea el intervalo regular. Además, el número de la pluralidad de termopares 18 no está limitado a siete.

La unidad 202 de derivación del flujo de calor deriva un vector  $\lambda_j$  de peso incluido en la función  $u^\wedge(x, y, t)$  de interpolación/extrapolación de temperatura sobre la base de los puntos de definición anteriores de las cantidades de información.

Se describirá un ejemplo de la función  $u^\wedge(x, y, t)$  de interpolación/extrapolación de temperatura en la presente memoria.

Primero, la ecuación de conducción de calor no estacionaria cuadrática se expresa por la siguiente expresión (1).

[Expresión 1]

$$\frac{\partial u}{\partial t} - a^2 \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) = 0, \quad 0 < x < 1, 0 < y < 1, 0 < t < t_{\text{máx}} \dots (1)$$

En la expresión (1),  $a$  es la raíz cuadrada del coeficiente de difusión térmica [ $m^2/s$ ] del material que constituye el molde. Además,  $0 < x < 1$  y  $0 < y < 1$  indican que las coordenadas  $(x, y)$  en el eje  $x$  y el eje  $y$  están normalizadas por  $[0, 1]$ . Más específicamente, cada coordenada en el eje  $x$  se decide de manera que la coordenada en el eje  $x$  en la superficie interior de la pared del molde 13 es «0» y la coordenada en el eje  $x$  en la superficie exterior de la pared del mismo es «1». Además, cada coordenada en el eje  $y$  se decide de manera que la coordenada en el eje  $y$  en el extremo superior del molde 13 sea «0» y la coordenada en el eje  $y$  en el extremo inferior del mismo es «1».

La condición límite en la superficie exterior de la pared (la superficie enfriada) del molde 13 se expresa por la siguiente expresión (2).

[Expresión 2]

$$-\beta \frac{\partial u}{\partial x}(1, y, t) = \gamma \left( u(1, y, t) - \frac{g(t)}{\gamma} \right) \dots (2)$$

En la expresión (2),  $g(t)$  es un producto ( $g(t) = u_w \times \gamma$ ) de la temperatura del agua  $u_w$  [K] y el coeficiente  $\gamma$  de transferencia de calor [ $W/(m^2 \cdot K)$ ] entre el material que constituye el molde 13 y agua.  $\beta$  es una conductividad del calor [ $W/(m \cdot K)$ ] del material que constituye el molde 13. Cada temperatura  $u_w$  del agua, el coeficiente  $\gamma$  de transferencia de calor entre el material que constituye el molde 13 y agua y la conductividad  $\beta$  del calor del material que constituye el molde 13 es un conjunto de valores por adelantado. Como la temperatura  $u_w$  del agua, por ejemplo, puede usarse un valor promedio en un tiempo predeterminado.

La expresión (2) es una expresión que expresa el equilibrio entre los flujos de calor en la superficie exterior de la pared del molde 13. Más específicamente, la expresión (2) es una expresión que expresa que el primer flujo de calor y el segundo flujo de calor siguientes son iguales. El primer flujo de calor es un flujo de calor basado en el gradiente de temperatura en la dirección de eliminación del calor del molde 13 en la superficie exterior de la pared del molde 13 y en la conductividad  $\beta$  del calor del material que constituye el molde 13. El segundo flujo de calor es un flujo de calor basado en la diferencia entre una temperatura  $u(1, y, t)$  en la superficie exterior de la pared del molde 13 y la temperatura  $u_w$  del agua y en el coeficiente  $\gamma$  de transferencia de calor entre el material que constituye el molde 13 y agua.

En esta realización, se expresa una función  $u(x^*, y^*, t)$  de la temperatura del termopar por la siguiente expresión (3).

[Expresión 3]

$$u(x^*, y^*, t) = h(t), \quad x^* \in [0, 1], y^* \in [0, 1] \quad \dots \quad (3)$$

5 En la expresión (3),  $x^*$  es una coordenada en el eje x de la posición del termopar 18.  $y^*$  es una coordenada en el eje y de la posición del termopar 18. La función  $u(x^*, y^*, t)$  de la temperatura del termopar es una función que indica la temperatura medida por el termopar 18 y es una función de la posición  $(x, y)$  del termopar 18 y el tiempo  $t$ .  $h(t)$  es la temperatura en el tiempo  $t$  medida por el termopar 18. Además,  $x^* \in [0, 1]$  e  $y^* \in [0, 1]$  indican que las coordenadas  $(x^*, y^*)$  en el eje x y el eje y del termopar 18 están normalizadas por  $[0, 1]$ . Más específicamente, el eje x del termopar 18 se decide de manera que la coordenada en el eje x en la superficie interior de la pared del molde 13 sea «0» y la coordenada en el eje x en la superficie exterior de la pared del mismo sea «1». Además, el eje y del termopar 18 se decide de manera que la coordenada en el eje y en el extremo superior del molde 13 sea «0» y la coordenada en el eje y en el extremo inferior del mismo sea «1».

En esta realización, la función  $u^{\wedge}(x, y, t)$  de interpolación/extrapolación de la temperatura se expresa por la siguiente expresión (4).

15 [Expresión 4]

$$u^{\wedge}(x, y, t) = \sum_{j=1}^{m+1} \lambda_j \phi(x-x_j, y-y_j, t-t_j) \quad \dots \quad (4)$$

En la expresión (4), la función  $u^{\wedge}(x, y, t)$  de interpolación/extrapolación de la temperatura es una temperatura que satisface la ecuación de conducción de calor no estacionaria cuadrática expresada por la expresión (1) y es una solución aproximada de la temperatura  $u$ .

20  $x_j$  e  $y_j$  son elementos (la coordenada en el eje x y la coordenada en el eje y) de un vector de posición de referencia arbitraria  $(x_j, y_j)$ .  $t_j$  es un tiempo de referencia arbitrario. Un punto en las coordenadas tridimensionales decidido por el vector  $(x_j, y_j)$  de posición de referencia y el tiempo  $t_j$  de referencia se denomina un punto central. Normalmente, el vector  $(x_j, y_j)$  de posición de referencia y el tiempo  $t_j$  de referencia se hacen coincidir con el punto de definición ya descrito de la cantidad de información y esto también se aplica a esta realización. Sin embargo, el vector  $(x_j, y_j)$  de posición de referencia y el tiempo  $t_j$  de referencia no tienen que hacerse coincidentes con el punto de definición ya descrito de la cantidad de información.

$j$  es una variable que identifica el punto central ya descrito (el punto en las coordenadas tridimensionales decidido por el vector  $(x_j, y_j)$  de posición de referencia y el tiempo  $t_j$  de referencia) y un número entero en un intervalo de 1 a  $m + 1$ .

$m$  se expresa por  $n_{p1} \times n_t$  y  $l$  se expresa por  $n_{p2} \times n_t$ .

30  $n_{p1}$  es el número de los puntos  $j$  centrales en la superficie exterior de la pared del molde 13. El punto  $j$  central en la superficie exterior de la pared del molde 13 se fija de manera que la función  $u^{\wedge}(x, y, t)$  de interpolación/extrapolación de la temperatura satisfaga la expresión (2).  $n_{p2}$  es la posición del termopar 18. La posición del termopar 18 se fija de manera que la función  $u^{\wedge}(x, y, t)$  de interpolación/extrapolación de la temperatura satisfaga la expresión (3).  $n_t$  es el número de tiempos. Este tiempo se fija de manera que la función  $u^{\wedge}(x, y, t)$  de interpolación/extrapolación de la temperatura satisfaga la expresión (2) y la expresión (3). Como se describió anteriormente,  $m$  es el número de puntos  $j$  centrales decidido por las posiciones en la superficie exterior de la pared del molde 13 y los tiempos. Además,  $l$  es el número de los puntos  $j$  centrales decididos por las posiciones de los termopares 18 y los tiempos.

40 En esta realización, el punto  $j$  central se hace coincidir con el punto de definición de la cantidad de información. De acuerdo con esto, en los ejemplos ilustrados en la figura 3A y la figura 3B, el valor máximo  $m + 1$  de  $j$  es la suma de las representaciones gráficas indicadas por los círculos negros y las representaciones gráficas indicadas por líneas discontinuas. En concreto, el número de los puntos  $j$  centrales decidido por las posiciones en la superficie exterior de la pared del molde 13 y los tiempos es 49 ( $= 7 \times 7$ ), y el número 1 de los puntos  $j$  centrales decidido por las posiciones de los termopares 18 y los tiempos es 49 ( $= 7 \times 7$ ).

$\phi(x - x_j, y - y_j, t - t_j)$  es una función de base decidida por la siguiente expresión (5) y la expresión (6).

45

[Expresión 5]

$$\phi(x, y, t) = F(x, y, t+T) \quad \dots (5)$$

$$F(x, y, t) = \frac{1}{2a\sqrt{\pi t}} e^{-(x^2+y^2)/4a^2t} H(t) \quad \dots (6)$$

5 En la expresión 6, H(t) es una función Heaviside. La expresión (6) es una expresión expresada en la forma de una solución fundamental que satisface la ecuación de conducción de calor no estacionaria cuadrática expresada en la expresión (1). Obsérvese que la solución fundamental es una solución (la temperatura u) de la ecuación de conducción de calor no estacionaria cuadrática cuando la condición inicial de la temperatura u se expresa por una función  $\delta$ . En la expresión (5), T es un parámetro para ajustar el perfil de difusión de la solución fundamental de la ecuación de conducción de calor no estacionaria cuadrática y se fija con antelación. T es un valor mayor de 0.

10 Como se describió anteriormente, la función  $\phi(x - x_j, y - y_j, t - t_j)$  de base es una función expresada en la forma de la solución fundamental que satisface la ecuación de conducción de calor no estacionaria cuadrática sobre la base del punto j central (el vector  $(x_j, y_j)$  de posición de referencia y el tiempo  $t_j$  de referencia).

15  $\lambda_j$  es un vector de peso que representa el peso de la función  $\phi(x - x_j, y - y_j, t - t_j)$  de base con respecto a la función  $u^\wedge(x, y, t)$  de interpolación/extrapolación de la temperatura. El vector  $\lambda_j$  de peso se decide por el equilibrio entre la influencia de la función  $\phi(x - x_j, y - y_j, t - t_j)$  de base sobre la función  $u^\wedge(x, y, t)$  de interpolación/extrapolación de la temperatura y la influencia de otra función  $\phi(x - x_j, y - y_j, t - t_j)$  de base diferente de la función  $\phi(x - x_j, y - y_j, t - t_j)$  de base anterior sobre la función  $u^\wedge(x, y, t)$  de interpolación/extrapolación de la temperatura. La función  $\phi(x - x_j, y - y_j, t - t_j)$  de base existe para cada punto j central y el vector  $\lambda_j$  de peso también existe para cada punto j central.

20 Como se describió anteriormente, la función  $u^\wedge(x, y, t)$  de interpolación/extrapolación de la temperatura se expresa por la suma total de los valores en los puntos j centrales respectivos de los productos de la función  $\phi(x - x_j, y - y_j, t - t_j)$  de base y el vector  $\lambda_j$  de peso.

El vector  $\lambda_j$  de peso se expresa por la siguiente expresión (7) a la expresión (10).

[Expresión 6]

$$A \lambda = b \quad \dots (7)$$

$$A = \begin{bmatrix} \beta \frac{\partial \phi}{\partial x}(x_k - x_j, y_k - y_j, t_k - t_j) + \gamma \phi(x_k - x_j, y_k - y_j, t_k - t_j) \\ \phi(x_s - x_j, y_s - y_j, t_s - t_j) \end{bmatrix} \quad \dots (8)$$

$$\lambda = [\lambda_j] \quad \dots (9)$$

$$b = \begin{bmatrix} g_k \\ h_{s-m} \end{bmatrix} \quad \dots (10)$$

25 En la expresión (8) y la expresión (10) k es una variable que identifica el punto de definición de la cantidad de información y es un número entero de 1 a m ( $k = 1, \dots, m$ ). s es una variable que identifica el punto de definición de la cantidad de información y es un número entero de m + 1 a m + 1 ( $s = m + 1, \dots, m + 1$ ). j es un número entero de 1 a m + 1 ( $j = 1, \dots, m + 1$ ).

Una matriz A es una matriz  $(m + 1) \times (m + 1)$ . b y  $\lambda$  son vectores de columna  $(m + 1)$ -dimensionales. Como se describió

anteriormente,  $(m + 1)$  es el número de puntos  $j$  centrales.

En la expresión (8), « $\partial \phi / \partial x(x_k - x_j, y_k - y_j, t_k - t_j) + \gamma \phi(x_k - x_j, y_k - y_j, t_k - t_j)$ » en  $[ ]$  de  $A = [ ]$  representa un componente de la fila  $k$  y la columna  $j$  de la matriz  $A$  y « $\phi(x_s - x_j, y_s - y_j, t_s - t_j)$ » representa un componente de la fila  $s$  y la columna  $j$  de la matriz  $A$ .

- 5 Para  $g_k$  en  $[ ]$  de  $b = [ ]$ , se da  $g(t)$  expresado en la expresión (2).  $g_k$  en  $[ ]$  representa un componente de una fila  $k$  de una matriz  $b$ . Para  $h_{s-m}$  en  $[ ]$  de  $b = [ ]$ , se da  $h(t)$  expresado en la expresión (3).  $h_{s-m}$  en  $[ ]$  representa un componente de la fila  $s$  de la matriz  $b$ .

- 10 Como se describió anteriormente,  $k$  es una variable que identifica el punto de definición de la cantidad de información y es un número entero de 1 a  $m$  ( $k = 1, \dots, m$ ).  $m$  se expresa por  $n_{p1} \times n_t$ .  $n_{p1}$  es el número de los puntos  $j$  centrales en la superficie exterior de la pared del molde 13. La coordenada en el eje  $x$  se decide de manera que la coordenada en el eje  $x$  en la superficie interior de la pared del molde 13 sea «0» y la coordenada en el eje  $x$  en la superficie exterior de la pared del mismo sea «1». De acuerdo con esto, en la expresión (8),  $x_k$  se convierte en «1».

- 15 La expresión (7) a la expresión (10) son expresiones para derivar el vector  $\lambda_j$  de peso sustituyendo la información en el punto de definición de la cantidad de información en ecuaciones simultáneas de la expresión (2) y la expresión (4) y resolviendo las ecuaciones simultáneas para satisfacer la ecuación de conducción de calor no estacionaria cuadrática de la expresión (1), la condición límite en la superficie exterior de la pared del molde 13 de la expresión (2), la función de la temperatura del termopar (la temperatura medida por el termopar en el molde 13 en cada posición  $(x^*, y^*)$  y en cada tiempo  $t$ ) de la expresión (3) y la función de interpolación/extrapolación de la temperatura de la expresión (4). La información en el punto de definición de la cantidad de información sustituida en las ecuaciones  
20 simultáneas incluye la posición del punto de definición de la cantidad de información, la temperatura por el termopar 18, el momento de la medición de la temperatura del termopar 18, la temperatura  $u_w$  del agua, la conductividad  $\beta$  del calor del material que constituye el molde 13, el coeficiente  $\gamma$  de transferencia de calor entre el material que constituye el molde 13 y el agua y el coeficiente  $a$  de difusión térmica del material que constituye el molde 13. La temperatura  $u_w$   
25 del agua, la conductividad  $\beta$  del calor del material que constituye el molde 13, el coeficiente  $\gamma$  de transferencia de calor entre el material que constituye el molde 13 y el agua y el coeficiente  $a$  de difusión térmica del material que constituye el molde 13 pueden hacerse diferentes dependiendo del punto de definición de la cantidad de información o pueden hacerse iguales. Además, en la solución de las ecuaciones simultáneas de la expresión (2) y la expresión (4), la posición del punto  $j$  central también se sustituye en las ecuaciones simultáneas.

- 30 De la unidad 202 de derivación de flujo de calor deriva el vector  $\lambda_j$  de peso por la expresión (7) a la expresión (10) de la manera anterior.

La unidad 202 de derivación del flujo de calor realiza el tratamiento anterior cada tiempo de adquisición de la temperatura de la unidad 201 de adquisición de temperatura.

En esta realización, el valor  $q_y$  del componente en la dirección del eje  $y$  y del vector de flujo de calor se expresa por la siguiente expresión (11).

- 35 [Expresión 7]

$$q_y = \beta \frac{\partial \hat{u}(x=0, y, t)}{\partial y}$$

$$= -\beta \sum_{j=1}^{m+1} \lambda_j \frac{y-y_j}{4a^3(t-t_j)\sqrt{\pi(t-t_j)}} H(t-t_j) \quad \dots \quad (11)$$

- 40 De acuerdo con esto, de la unidad 202 de derivación del flujo de calor deriva el valor  $q_y$  del componente en la dirección del eje  $y$  y del vector de flujo de calor en la superficie interior de la pared del molde 13 sustituyendo la conductividad  $\beta$  del calor del material que constituye el molde 13, el coeficiente  $a$  de difusión térmica del material que constituye el molde 13, el tiempo  $t_j$  de referencia, el número  $m + 1$  de los puntos  $j$  centrales y el vector  $\lambda_j$  de peso derivado como se describió anteriormente en la expresión (11).

<Unidad 203 de derivación del nivel de la superficie de metal fundido>

- 45 De la unidad 203 de derivación del nivel de la superficie de metal fundido deriva la relación entre el valor  $q_y$  del componente en la dirección del eje  $y$  y del vector de flujo de calor y la posición en la dirección del eje  $y$ , del valor  $q_y$  del componente en la dirección del eje  $y$  y del vector de flujo de calor derivado por la unidad 202 de derivación del flujo de calor. De la unidad 203 de derivación del nivel de la superficie de metal fundido deriva, de la relación, la posición donde el valor  $q_y$  del componente en la dirección del eje  $y$  y del vector de flujo de calor tiene un valor negativo y su valor absoluto es máximo (es decir, mínimo), como el nivel de la superficie de metal fundido. En esta realización, el eje  $y$  se

define como se ilustra en la figura 1. De acuerdo con esto, la posición donde el valor  $q_v$  del componente en la dirección del eje y del vector de flujo de calor en la superficie interior de la pared del molde 13 se hace mínima (el valor absoluto de los valores negativos es máximo) es el nivel de la superficie de metal fundido. Obsérvese que cuando se define que el eje y sea la dirección opuesta a la dirección ilustrada en la figura 1, la posición donde el valor  $q_v$  del componente en la dirección del eje y del vector de flujo de calor en la superficie interior de la pared del molde 13 es máximo, es el nivel de la superficie de metal fundido. Como se describió anteriormente, de la unidad 203 de derivación del nivel de la superficie de metal fundido deriva, como el nivel de la superficie de metal fundido, la posición donde el valor absoluto del valor  $q_v$  del componente en la dirección del eje y del vector de flujo de calor cuyo vector del componente en el eje y está en la dirección opuesta a la dirección de la fundición (es decir, dirigido en la dirección normal a la superficie de metal fundido) es máximo.

<Unidad 204 de salida>

La unidad 204 de salida produce la salida de la información sobre el nivel de la superficie de metal fundido derivada por la unidad 203 de derivación del nivel de la superficie de metal fundido. Como forma de salida de la información en el nivel de la superficie de metal fundido, puede emplearse al menos una de visualización en un monitor de ordenador, el almacenamiento en un medio de almacenamiento en el aparato 200 de detección del nivel de la superficie de metal fundido o un medio de almacenamiento portátil y transmisión a un dispositivo externo.

(Diagrama de flujo)

A continuación, un ejemplo del funcionamiento del aparato 200 de detección del nivel de la superficie de metal fundido en esta realización se describirá haciendo referencia al diagrama de flujo en la figura 4.

En el paso S401, la unidad 201 de adquisición de la temperatura adquiere las temperaturas medidas por la pluralidad de termopares 18.

A continuación, en el paso S402, la unidad 202 de derivación del flujo de calor determina si se ha adquirido o no el número requerido de temperaturas para derivar el vector  $\lambda_j$  de peso. En concreto, la unidad 202 de derivación del flujo de calor espera hasta que se adquiere una temperatura como el número del punto de definición de la cantidad de información con respecto al termopar 18. En los ejemplos ilustrados en la figura 3A y la figura 3B, la unidad 202 de derivación del flujo de calor espera hasta que se adquieren 49 temperaturas debido a que hay siete puntos de definición de las cantidades de información en la dirección del eje y y hay siete puntos de definición de las cantidades de información en la dirección del eje t. Obsérvese que en el caso en que ya se han adquirido las 49 temperaturas, cuando se adquieren las temperaturas que corresponden a los siete puntos de definición de las cantidades de información en la dirección del eje y al mismo tiempo, la unidad 202 de derivación de flujo de calor anula las temperaturas en el tiempo mayor entre las temperaturas que corresponden a los siete puntos de definición de las cantidades de información en la dirección del eje y al mismo tiempo y añade las temperaturas adquiridas esta vez.

Cuando no se ha adquirido el número requerido de temperaturas para derivar el vector  $\lambda_j$  de peso como resultado de la determinación, el flujo vuelve al paso S401. Entonces, el tratamiento en los pasos S401 y S402 se realiza de manera repetida hasta que se adquiere el número requerido de temperaturas para derivar el vector  $\lambda_j$  de peso. Cuando se adquiere el número requerido de temperaturas para derivar el vector  $\lambda_j$  de peso, el flujo transcurre al paso S403.

Cuando se procede al paso S403, de la unidad 202 de derivación del flujo de calor deriva el vector  $\lambda_j$  de peso por la expresión (7) a la expresión (10).

A continuación, en el paso S404, de la unidad 202 de derivación del flujo de calor deriva el valor  $q_v$  del componente en la dirección del eje y del vector de flujo de calor en la superficie interior de la pared del molde 13 por la expresión (11).

A continuación, en el paso S405, de la unidad 203 de derivación del nivel de la superficie de metal fundido deriva la relación entre el valor  $q_v$  del componente en la dirección del eje y del vector de flujo de calor y la posición en la dirección del eje y. De la unidad 203 de derivación del nivel de la superficie de metal fundido deriva, de la relación derivada, la posición donde el valor  $q_v$  del componente en la dirección del eje y del vector de flujo de calor tiene un valor negativo y su valor absoluto es máximo (es decir, mínimo), como el nivel de la superficie de metal fundido.

A continuación, en el paso S406, la unidad 204 de emisión emite la información sobre el nivel de la superficie de metal fundido derivada por la unidad 203 de derivación del nivel de la superficie de metal fundido.

A continuación, en el paso S407, el aparato 200 de detección del nivel de la superficie de metal fundido determina si terminar la derivación del nivel de la superficie de metal fundido. Esta determinación se realiza, por ejemplo, basándose en el funcionamiento mediante un operador para el aparato 200 de detección del nivel de la superficie de metal fundido.

Cuando la derivación del nivel de la superficie de metal fundido no está terminada como resultado de la determinación, el flujo se devuelve al paso S401. Entonces, el tratamiento en los pasos S401 a S407 se realiza de manera repetida cada vez que las temperaturas se adquieren nuevamente en el paso S401.

Por otra parte, cuando termina la derivación del nivel de la superficie de metal fundido, termina el tratamiento mediante el diagrama de flujo en la figura 4.

(*Hardware* del aparato 200 para detectar el nivel de la superficie de metal fundido en el molde de fundición continua)

5 La figura 5 es un diagrama que ilustra un ejemplo de una configuración de *hardware* del aparato 200 de detección del nivel de la superficie de metal fundido.

Como se ilustra en la figura 5, el aparato 200 de detección del nivel de la superficie de metal fundido tiene una CPU (unidad procesadora central) 501, una ROM (memoria de solo lectura) 502, una RAM (memoria de acceso aleatorio) 503, un PD (dispositivo señalador) 504, un HD (disco duro) 505, un dispositivo de visualización 506, un altavoz 507, una I/F (interfase) 508 y un bus de sistema 509 (todos por sus siglas en inglés).

10 La CPU 501 controla de manera central el funcionamiento en el aparato 200 de detección del nivel de la superficie de metal fundido. La CPU 501 controla los componentes (502 a 508) del aparato 200 de detección del nivel de la superficie de metal fundido vía el bus 509 de sistema.

15 La ROM 502 almacena una BIOS (sistema básico de entrada/salida) y un programa de sistema operativo (OS) que son los programas de control de la CPU 501 y los programas requeridos para que la CPU 501 ejecute el tratamiento por el diagrama de flujo ya descrito ilustrado en la figura 4, etc.

20 La RAM 503 funciona como una memoria principal, un área de trabajo, etc., de la CPU 501. Para ejecutar el tratamiento, la CPU 501 realiza varias operaciones cargando los programas informáticos necesarios, la información, etc., de la ROM 502 y el HD 505 en la RAM 503 y ejecutando el tratamiento en los programas informáticos, la información, etc. El programa informático para ejecutar el tratamiento en el diagrama de flujo ya descrito en la figura 4 puede almacenarse en el HD 505.

El PD 504 está constituido, por ejemplo, por un ratón, un teclado o similar y constituye un medio de entrada para el funcionamiento para que el operador realice una entrada para el funcionamiento en el aparato 200 de detección del nivel de la superficie de metal fundido cuando sea necesario.

El HD 505 constituye un medio de almacenamiento que almacena varias clases de información, datos, archivos, etc.

25 El dispositivo 506 de visualización constituye un medio de visualización que visualiza varias clases de información e imágenes, basándose en el control de la CPU 501.

El altavoz 507 constituye un medio de salida de sonido que emite sonido relacionado con varias clases de información, basándose en el control de la CPU 501.

30 La I/F 508 realiza comunicación de varias clases de información, etc., con el dispositivo externo, basándose en el control de la CPU 501. La temperatura medida por el termopar 18 es introducida en el aparato 200 de detección del nivel de la superficie de metal fundido vía la I/F 508.

El bus 509 de sistema es un bus para conectar la CPU 501, la ROM 502, la RAM 503, el PD 504, el HD 505, el dispositivo 506 de visualización, el altavoz 507 y la I/F 508 para que puedan comunicarse entre sí.

### (Ejemplos)

35 Se compararon el nivel de la superficie de metal fundido detectado por el método de esta realización, el nivel de la superficie de metal fundido detectado por un método existente y el nivel de la superficie de metal fundido medido realmente. Como se ilustra en la figura 6, la pluralidad de termopares 18 se embute en la parte 13a lateral corta del molde 13. Como se ilustra en la figura 6, la pluralidad de termopares 18 no se tiene que embutir en el molde 13 con precisión a lo largo de la dirección del eje y. Sin embargo, el vector  $\lambda_j$  de peso ya descrito deriva de las coordenadas en el eje x de los termopares 18 fijadas al mismo valor. Más específicamente, las posiciones en la dirección del eje x de los termopares 18 no tienen que ser precisamente iguales siempre que no afecten a la precisión del vector  $\lambda_j$  de peso. Además, se midieron la temperatura del agua en el lado interior (lado superior) del molde 13 y la temperatura del agua en el lado exterior (lado inferior) del molde 13 y se calculó su valor promedio y se consideró como la temperatura del agua de enfriamiento.

45 En el método de esta realización, del valor  $q_y$  del componente en la dirección del eje y del vector de flujo de calor en la superficie interior de la pared del molde 13 deriva como se describió anteriormente. Después, la posición donde el valor absoluto del valor  $q_y$  del componente en la dirección del eje y del vector de flujo de calor, cuyo vector del componente en el eje y está en la dirección opuesta a la dirección de la fundición, es máximo, se determina como el nivel L de la superficie de metal fundido. La figura 7A ilustra de manera conceptual un ejemplo de la relación, obtenido por el método de esta realización, entre el valor  $q_y$  del componente en la dirección del eje y del vector de flujo de calor en la superficie interior de la pared del molde 13 y la posición en la dirección del eje y.

Por otra parte, en el método existente, se calcula la distribución de temperatura en el molde 13 y se determina la posición de una temperatura máxima ( $T_{\text{máx}}$ )  $\times$  0,65 como el nivel L de la superficie de metal fundido, basado en la regla

empírica. La figura 7B ilustra de manera conceptual un ejemplo de la relación, obtenido por el método existente, entre la temperatura del molde 13 y la posición en la dirección del eje y.

5 Se midió realmente el nivel de la superficie de metal fundido usando un aparato ilustrado en la figura 8. Un flotador 801 flota en la superficie de metal fundido del acero fundido en el interior del molde y se dispone una varilla 802 en el flotador 801. Además, se dispone un soporte 803 para medir la oscilación. Después, el movimiento de la punta de la varilla 802 y el movimiento de la punta del soporte 803 para medir la oscilación son una imagen capturada mediante una cámara 804 de vídeo. El tratamiento de la imagen se realiza sobre la imagen capturada por la cámara 804 de vídeo para digitalizar y registrar el desplazamiento en la dirección del eje y de la superficie de metal fundido. A partir del desplazamiento en la dirección del eje y de la superficie de metal fundido se obtuvo el nivel de la superficie de metal fundido.

La figura 9 ilustra el nivel de la superficie de metal fundido detectado por el método de esta realización, el nivel de la superficie de metal fundido detectado por el método existente y el nivel de la superficie de metal fundido medido realmente. El eje horizontal indica el tiempo y el eje longitudinal indica el nivel de la superficie de metal fundido.

15 El método existente disminuye extremadamente la precisión de la detección cuando se eleva el nivel de la superficie de metal fundido realmente medido y no puede seguir el valor medido realmente.

En contraste con lo anterior, se encuentra que el método de esta realización puede seguir el valor medido realmente en un amplio intervalo. Considerando que hay una variación de aproximadamente 5 mm a 10 mm en la precisión de la medición realmente del nivel de la superficie de metal fundido, el nivel de la superficie de metal fundido detectado por el método de esta realización puede decirse que tiene una buena correspondencia con el nivel de la superficie de metal fundido medido realmente.

20 Como se describió anteriormente, esta realización detecta el nivel de la superficie de metal fundido si bien comprende la influencia sobre la transferencia de calor en la posición de la superficie de metal fundido del acero fundido en el interior del molde 13, tal como la eliminación de calor por el polvo 17. Más específicamente, la posición donde el valor absoluto del valor  $q_y$  del componente en la dirección del eje y del vector de flujo de calor, cuyo vector del componente en el eje y está en la dirección opuesta a la dirección de la fundición es máximo, se detecta como el nivel de la superficie de metal fundido. De acuerdo con esto, puede incrementarse la precisión de la detección del nivel de la superficie de metal fundido. Esto hace posible controlar de manera estable el nivel de la superficie de metal fundido y evitar el rebosamiento del acero fundido y la aparición de sustancia suspendida para conseguir la mejora en la calidad interna de la plancha de fundición. Además, esto contribuye a la estabilización del funcionamiento y a la mejora de la calidad tal como la prevención del problema de la corrosión debida a la erosión local de la boquilla 12 de inmersión y a la caída de la punta de la boquilla 12 de inmersión, la mejora en la precisión de la detección de deriva del acero fundido en el interior del molde 13, etc.

35 Además, en esta realización, un valor obtenido multiplicando un valor, que se obtiene diferenciando parcialmente la función  $u^{\wedge}(x, y, t)$  de interpolación/extrapolación de la temperatura tomando de manera continua valores por y por la conductividad  $\beta$  del calor del material que constituye el molde 13 deriva como el valor  $q_y$  del componente en la dirección del eje y del vector de flujo de calor. De acuerdo con esto, la precisión del cálculo del flujo de calor puede incrementarse cuando se compara con el caso donde el flujo de calor deriva como un valor discreto.

40 Además, en esta realización, la función  $u^{\wedge}(x, y, t)$  de interpolación/extrapolación de la temperatura se expresa por la suma total de los productos de la función  $\phi(x - x_j, y - y_j, t - t_j)$  de base y el vector  $\lambda_j$  de peso. La función  $u^{\wedge}(x, y, t)$  de interpolación/extrapolación de la temperatura expresada de esta manera y la condición límite que representa el equilibrio entre los flujos térmicos en la superficie exterior de la pared del molde 13 de la ecuación de conducción de calor no estacionaria cuadrática se usan como las ecuaciones simultáneas para derivar el vector  $\lambda_j$  de peso. De acuerdo con esto, los termopares en su uso pueden estar constituidos por solo la pluralidad de termopares dispuestos en una línea a lo largo de la dirección del eje y. Esto elimina la necesidad de disponer los termopares en una pluralidad de líneas en la dirección del eje x.

### Aplicabilidad industrial

La presente invención puede usarse para la detección del nivel de la superficie de metal fundido del acero fundido en el molde de fundición continua.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato para detectar un nivel de la superficie de metal fundido en un molde de fundición continua, comprendiendo el aparato:
- 5 un medio de adquisición de temperatura configurado para adquirir las temperaturas medidas por una pluralidad de medios de medición de la temperatura embutidos en el molde de fundición continua a lo largo de la dirección de la fundición del molde de fundición continua;
- 10 un medio de derivación del flujo de calor configurado para derivar un valor de un componente en la dirección de la fundición de un vector de flujo de calor en la superficie interior de la pared del molde de fundición continua, basado en un resultado del análisis de problemas inversos de conducción de calor no estacionaria a partir de las temperaturas adquiridas por el medio de adquisición de temperatura y
- 15 un medio de derivación del nivel de la superficie de metal fundido configurado para derivar un nivel de la superficie de metal fundido en el interior del molde de fundición continua, basado en el valor del componente en la dirección de la fundición del vector de flujo de calor en la superficie interior de la pared del molde de fundición continua derivado por el medio de derivación de flujo de calor,
- 20 en donde del medio de derivación del nivel de la superficie de metal fundido deriva, como nivel de la superficie de metal fundido, una posición donde un valor absoluto del valor del componente en la dirección de la fundición del vector de flujo de calor, cuyo vector del componente en la dirección de la fundición está en una dirección opuesta a la dirección de la fundición, es máximo.
2. El aparato para detectar el nivel de la superficie de metal fundido en el molde de fundición continua según la reivindicación 1,
- 25 en donde el análisis de los problemas inversos de conducción de calor no estacionaria es el análisis de los problemas inversos de conducción de calor no estacionaria usando una función de interpolación/extrapolación de la temperatura que satisface una ecuación de conducción del calor no estacionaria y
- en donde la función de interpolación/extrapolación de la temperatura es una función  $u^{\wedge}(x, y, t)$  que indica una temperatura en el interior del molde de fundición continua en una posición  $x$  en una dirección del eje  $x$  que es una dirección de eliminación de calor del molde de fundición continua, siendo una posición  $y$  en la dirección del eje  $y$  y la dirección de la fundición del molde de fundición continua, y un tiempo  $t$ .
3. El aparato para detectar el nivel de la superficie de metal fundido en el molde de fundición continua según la reivindicación 2,
- 30 en donde la función  $u^{\wedge}(x, y, t)$  de interpolación/extrapolación de la temperatura se expresa por una suma total de valores en los respectivos puntos  $j$  centrales de los productos de una función  $\phi_j$  de base decidida para cada punto  $j$  central y un vector  $\lambda_j$  de peso decidido para cada punto  $j$  central,
- 35 en donde el punto  $j$  central es un punto decidido por un vector  $(x_j, y_j)$  de posición de referencia que indica una posición que es una referencia en la dirección del eje  $x$  y la dirección del eje  $y$  del molde de fundición continua y un tiempo  $t_j$  de referencia, que es un punto en coordenadas tridimensionales decidido por las posiciones en la dirección del eje  $x$  y la dirección del eje  $y$  del molde de fundición continua y un tiempo  $y$
- en donde la función  $\phi_j$  de base es una función expresada en una forma de una solución fundamental que satisface la ecuación de conducción de calor no estacionaria basada en el punto  $j$  central.
4. El aparato para detectar el nivel de la superficie de metal fundido en el molde de fundición continua según la reivindicación 3,
- 40 en donde del medio de derivación del flujo de calor deriva un valor  $q_y$  de un componente en la dirección del eje  $y$  del vector de flujo de calor en la superficie interior de la pared del molde de fundición continua por la siguiente expresión (A),
- donde la siguiente  $\beta$  es una conductividad del calor de un material que constituye el molde de fundición continua,
- 45 la siguiente  $a$  es la raíz cuadrada de un coeficiente de difusión térmica del material que constituye el molde de fundición continua,
- la siguiente  $H(t - t_j)$  es una función Heaviside y
- el siguiente  $m + 1$  es un número de los puntos  $j$  centrales.

[Expresión 1]

$$q_y = -\beta \sum_{j=1}^{m+1} \lambda_j \frac{y-y_j}{4a^3 (t-t_j) \sqrt{\pi (t-t_j)}} H(t-t_j) \dots (A)$$

5. El aparato para detectar el nivel de la superficie de metal fundido en el molde de fundición continua según la reivindicación 3 o 4,

5 en donde cada punto decidido por una posición en la superficie exterior de la pared del molde de fundición continua y un tiempo, que es un punto en coordenadas tridimensionales decidido por las posiciones en la dirección del eje x y la dirección del eje y del molde de fundición continua y un tiempo y un punto decidido por una posición donde el medio de medición de la temperatura está embutido y un tiempo, que es un punto en coordenadas tridimensionales decidido por las posiciones en la dirección del eje x y la dirección del eje y del molde de fundición continua y un tiempo, se considera como un punto de definición de cantidad de información,

10 en donde del medio de derivación del flujo de calor deriva el vector  $\lambda_j$  de peso sustituyendo la información en el punto de definición de la cantidad de información en ecuaciones simultáneas de una condición límite en la ecuación de conducción de calor no estacionaria y la función  $u^{\wedge}(x, y, t)$  de interpolación/extrapolación de la temperatura y resolver las ecuaciones simultáneas para que se satisfaga la ecuación de conducción de calor no estacionaria, la condición límite en la ecuación de conducción de calor no estacionaria, una función  $u(x^*, y^*, t)$  de la temperatura del termopar y la función  $u^{\wedge}(x, y, t)$  de interpolación/extrapolación de la temperatura y deriva el valor  $q_v$  del componente en la dirección del eje y del vector de flujo de calor en la superficie interior de la pared del molde de fundición continua usando el vector  $\lambda_j$  de peso,

15 en donde la condición límite en la ecuación de conducción de calor no estacionaria es una expresión que indica que un flujo de calor basado en un gradiente de temperatura en la dirección del eje x en la superficie exterior de la pared del molde de fundición continua y en la conductividad del calor del material que constituye el molde de fundición continua es igual a un flujo de calor basado en la diferencia entre una temperatura en la superficie exterior de la pared del molde de fundición continua y una temperatura del agua y en un coeficiente de transferencia de calor entre el material que constituye el molde de fundición continua y agua,

20 en donde la pluralidad de medios de medición de la temperatura está embutida en el molde de fundición continua a lo largo de la dirección de la fundición en posiciones diferentes de la superficie exterior de la pared del molde de fundición continua y

25 en donde la función  $u(x^*, y^*, t)$  de la temperatura del termopar es una función que indica una temperatura medida por los medios de medición de la temperatura en una posición  $x^*$  del medio de medición de la temperatura en la dirección del eje x del molde de fundición continua, una posición  $y^*$  del medio de medición de la temperatura en la dirección del eje y del molde de fundición continua y un tiempo  $t$ .

6. El aparato para detectar el nivel de la superficie de metal fundido en el molde de fundición continua según la reivindicación 5,

en donde las posiciones en la dirección del eje x de la pluralidad de medios de medición de la temperatura son iguales.

35 7. El aparato para detectar el nivel de la superficie de metal fundido en el molde de fundición continua según la reivindicación 5 o 6,

en donde el vector  $\lambda_j$  de peso se calcula siguiendo la expresión (B) a la expresión (E),

en donde el siguiente  $m$  es un número de los puntos  $j$  centrales decidido por las posiciones en la superficie exterior de la pared del molde de fundición continua y los tiempos,

40 el siguiente  $1$  es el número de los puntos  $j$  centrales decidido por las posiciones de los medios de medición de la temperatura y los tiempos,

el siguiente  $k$  es un número entero a partir de  $1$  a  $m$  para identificar el punto de definición de la cantidad de información,

la siguiente  $s$  es un número entero de  $m + 1$  a  $m + 1$  para identificar el punto de definición de la cantidad de información,

la siguiente  $j$  es un número entero de  $1$  a  $m + 1$  para identificar el punto de definición de la cantidad de información,

45 la siguiente  $\beta$  es la conductividad del calor del material que constituye el molde de fundición continua,

la siguiente  $\gamma$  es un coeficiente de transferencia de calor entre el material que constituye el molde de fundición continua

y agua,

el siguiente  $h_{s-m}$  es una temperatura medida por el medio de medición de la temperatura,

la siguiente  $g_k$  es un producto de la temperatura del agua y el coeficiente  $\gamma$  de transferencia de calor entre el material que constituye el molde de fundición continua y agua,

5 la siguiente A es una matriz  $(m + 1) \times (m + 1)$ ,

la siguiente  $\beta \frac{\partial \phi}{\partial x}(x_k - x_j, y_k - y_j, t_k - t_j) + \gamma \phi(x_k - x_j, y_k - y_j, t_k - t_j)$  en [ ] de A es un valor de un componente de la fila k y la columna j de la matriz A,

la siguiente  $\phi(x_s - x_j, y_s - y_j, t_s - t_j)$  en [ ] de A es un valor de un componente de la fila s y la columna j de la matriz A,

la siguiente b es un vector de columna  $(m + 1)$ -dimensional,

10 la siguiente  $g_k$  en [ ] de b es un valor de un componente de la fila k de una matriz b,

el siguiente  $h_{s-m}$  en [ ] de b es un valor de un componente de la fila s de la matriz b y

la siguiente  $\lambda$  es un vector de columna  $(m + 1)$ -dimensional.

[Expresión 2]

$$A \lambda = b \quad \dots \quad (B)$$

$$A = \begin{bmatrix} \beta \frac{\partial \phi}{\partial x}(x_k - x_j, y_k - y_j, t_k - t_j) + \gamma \phi(x_k - x_j, y_k - y_j, t_k - t_j) \\ \phi(x_s - x_j, y_s - y_j, t_s - t_j) \end{bmatrix} \quad \dots \quad (C)$$

$$\lambda = [\lambda_j] \quad \dots \quad (D)$$

$$b = \begin{bmatrix} g_k \\ h_{s-m} \end{bmatrix} \quad \dots \quad (E)$$

15 8. Un método para detectar un nivel de la superficie de metal fundido en un molde de fundición continua, comprendiendo el método:

un paso de adquisición de la temperatura para adquirir temperaturas medidas por una pluralidad de medios de medición de la temperatura embutidos en el molde de fundición continua a lo largo de la dirección de la fundición del molde de fundición continua;

20 un paso de derivación de flujo de calor para derivar un valor de un componente de dirección de la fundición de un vector de flujo de calor en una superficie interior de la pared del molde de fundición continua, basado en el resultado del análisis de problemas inversos de conducción de calor no estacionaria a partir de las temperaturas adquiridas por el paso de adquisición de la temperatura y

25 un paso de derivación del nivel de la superficie de metal fundido para derivar el nivel de la superficie de metal fundido en el interior del molde de fundición continua, basándose en el valor del componente en la dirección de la fundición del vector de flujo de calor en la superficie interior de la pared del molde de fundición continua derivado por el paso de derivación de flujo de calor,

en donde del paso de derivación del nivel de la superficie de metal fundido deriva, como el nivel de la superficie de

metal fundido, una posición donde un valor absoluto del valor del componente de la dirección de la fundición del vector de flujo de calor, cuyo vector del componente en la dirección de la fundición está en una dirección opuesta a la dirección de la fundición, es máximo.

9. Un programa para hacer que el ordenador ejecute el método según la reivindicación 8.

5

FIG. 1

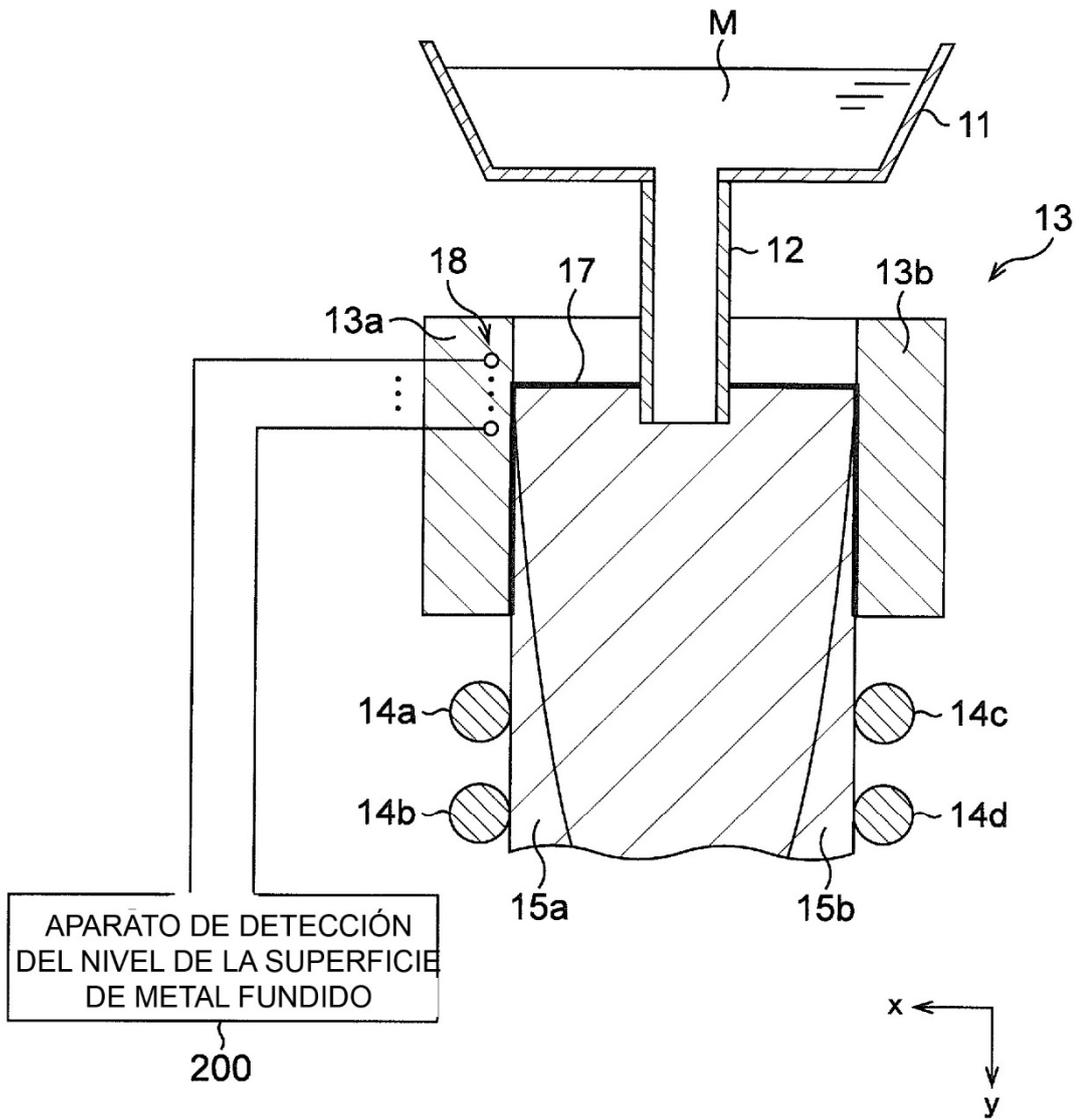


FIG. 2

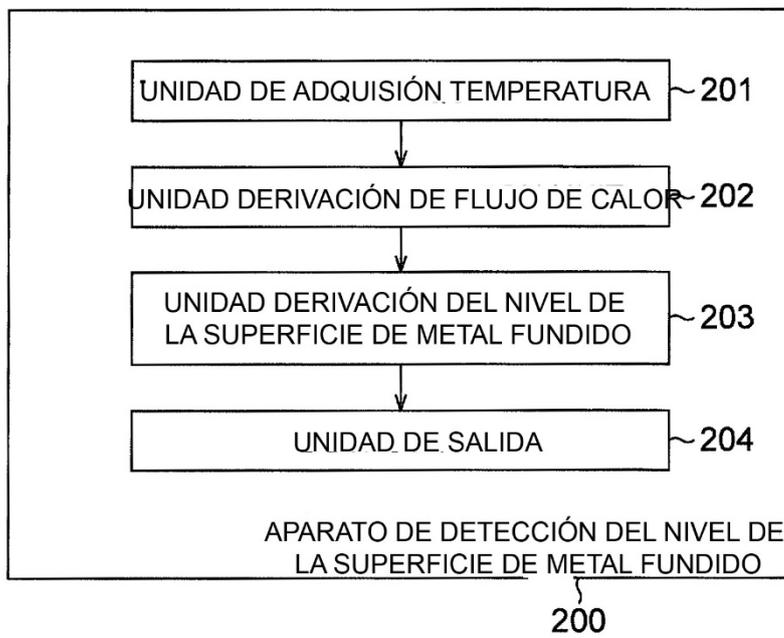


FIG. 3A

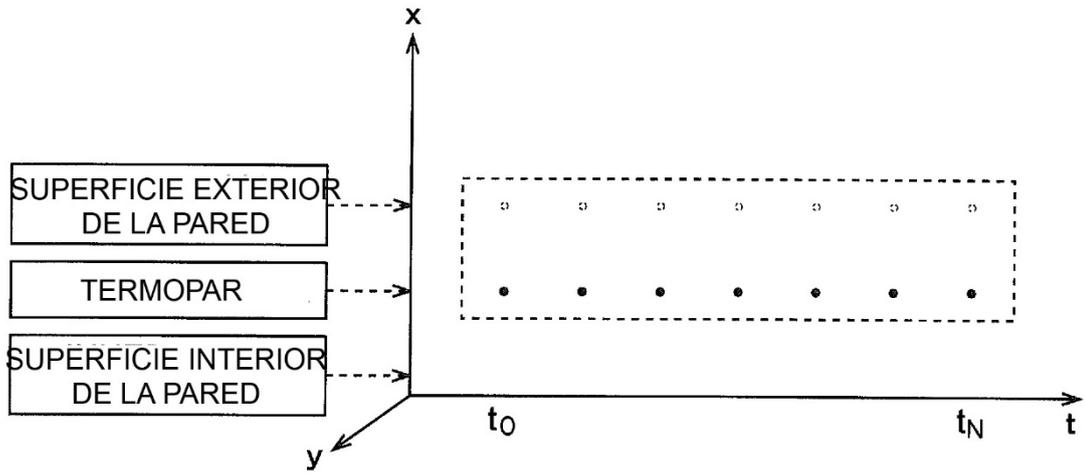


FIG. 3B

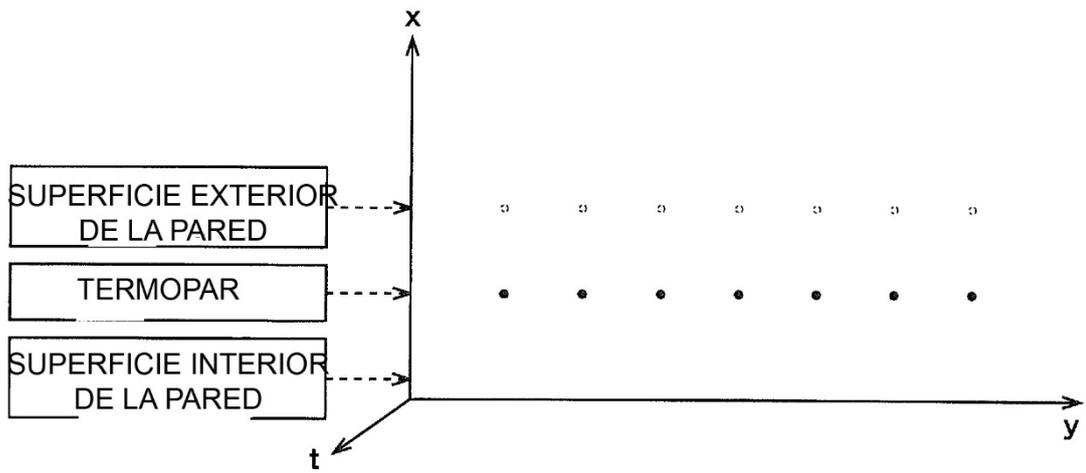


FIG. 4

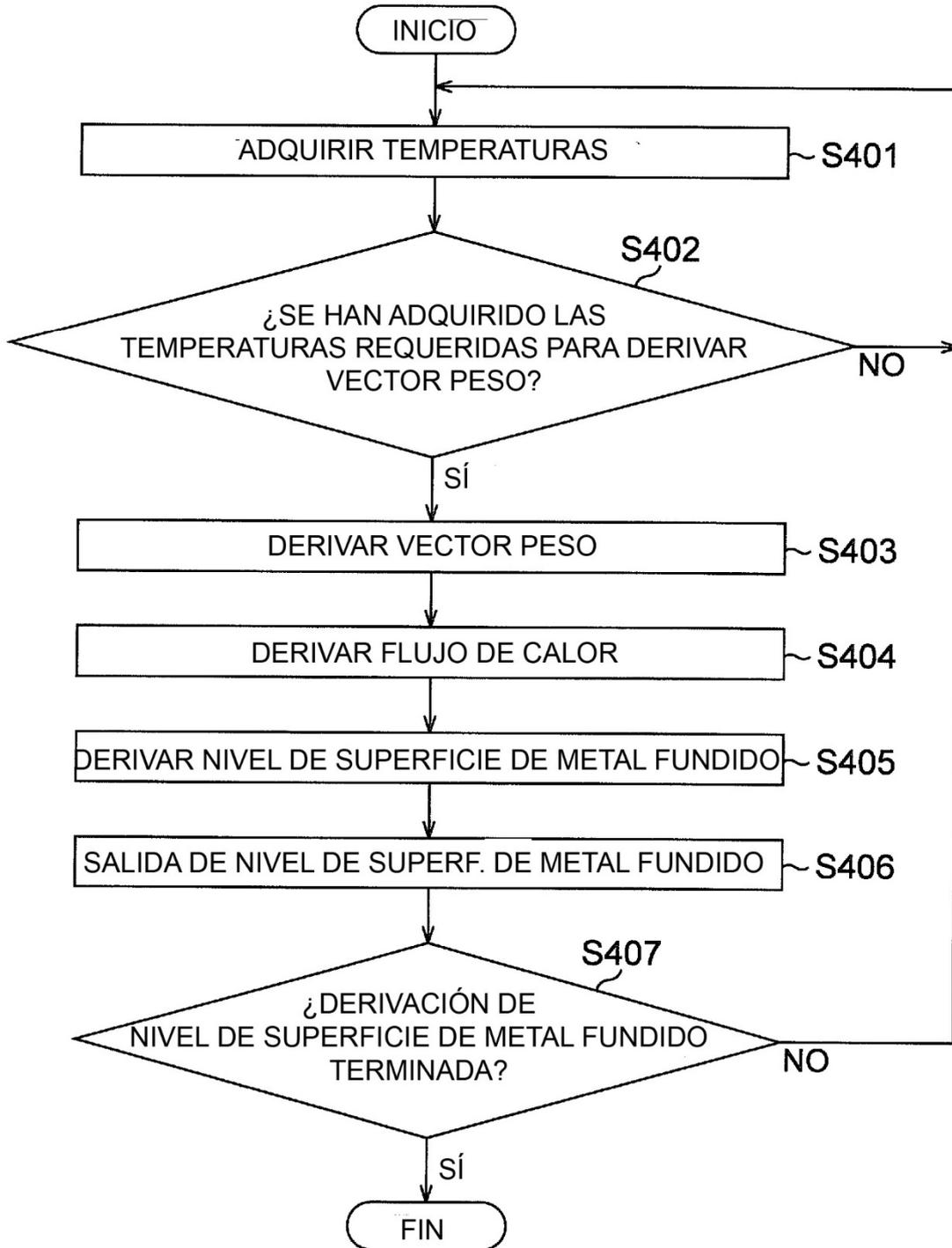


FIG. 5

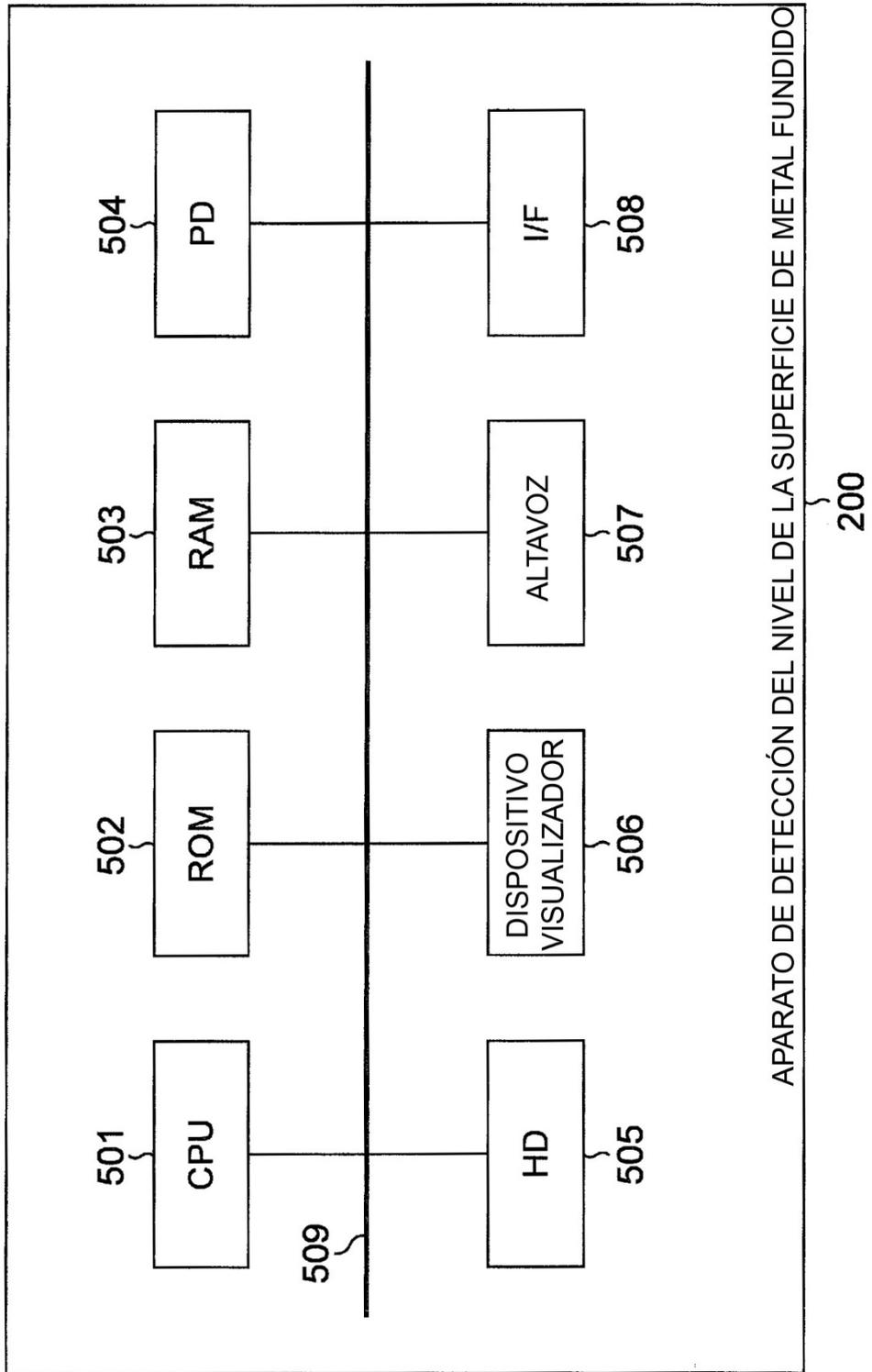


FIG. 6

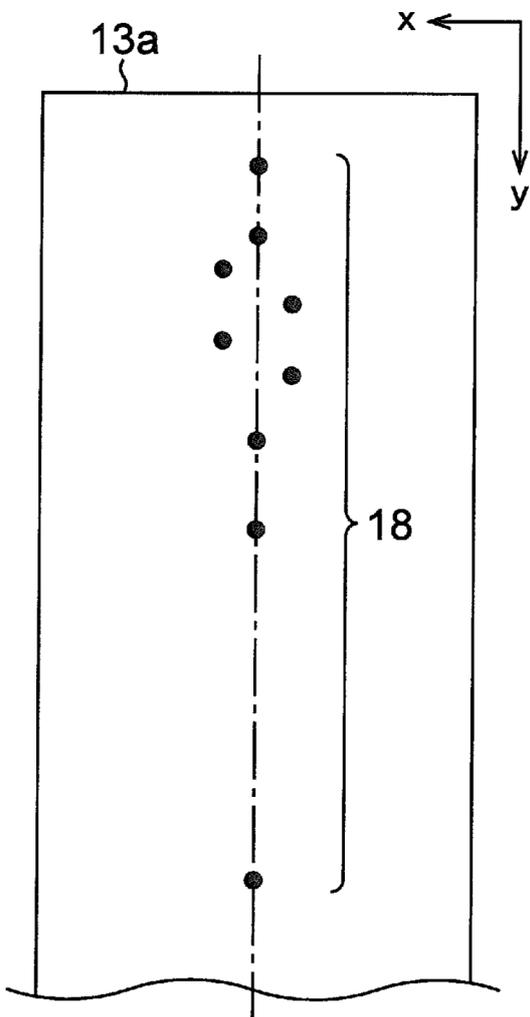


FIG. 7A

FLUJO DE CALOR  
(COMPONENTE DIRECCIÓN y)

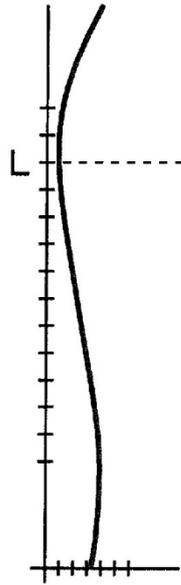


FIG. 7B

TEMPERATURA

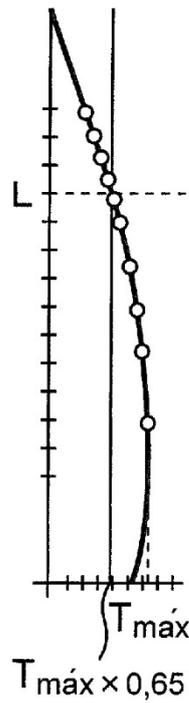


FIG. 8

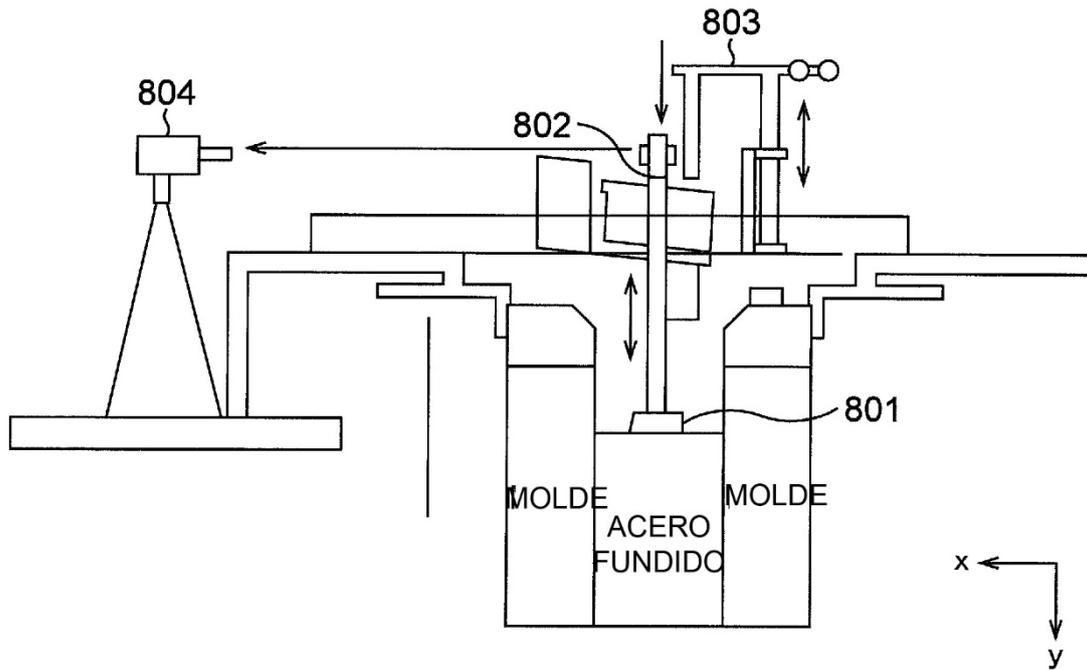


FIG. 9

