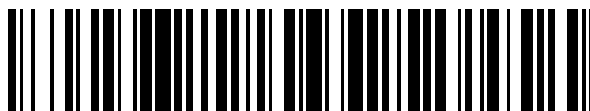


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 749 954**

51 Int. Cl.:

B22D 11/16 (2006.01)

B22D 2/00 (2006.01)

G01K 11/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.03.2009 PCT/JP2009/055111**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.09.2010 WO10106633**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.03.2009 E 09841838 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.08.2019 EP 2409795**

54 Título: **Método de medición de temperatura y dispositivo para placa de cobre de molde de colada continua**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.03.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

HONDA, TATSURO;
YAMANO, MASAKI;
MURAKAMI, TOSHIHIKO y
ADACHI, MANABU

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 749 954 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método de medición de temperatura y dispositivo para placa de cobre de molde de colada continua

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un método y un aparato para medir la temperatura de una placa de cobre de molde que constituye un molde para colada continua de metal fundido (tal como acero fundido). En particular, la presente invención se refiere a un método y un aparato capaces de medir la temperatura de una placa de cobre de
10 molde en un amplio intervalo del área de medición de temperatura con precisión y sin perjudicar la productividad de la colada continua.

Antecedentes de la técnica

15 Convencionalmente, se integra un termopar en una placa de cobre de molde de una máquina de colada continua (CC) para su uso en un proceso de fabricación de acero. A continuación, el termopar se usa para medir la temperatura de la placa de cobre de molde para monitorizar y controlar el interior del molde. Específicamente, la temperatura medida por el termopar se utiliza para predecir o detectar un derrame (BO) de acero fundido en el molde, así como para estimar la calidad de la pieza colada. Además, la temperatura medida por el termopar también
20 se usa como un indicador para controlar un aparato de agitación electromagnética y un aparato de freno electromagnético proporcionado en el molde. En general, el termopar se coloca en un agujero proporcionado en una placa de cobre de molde (el agujero se abre en una superficie opuesta a una superficie adyacente al acero fundido de la placa de cobre de molde y se extiende en la placa de cobre de molde) de tal manera que se coloca un punto de medición de temperatura a una distancia de 5 a 20 mm de una superficie adyacente al metal fundido de la placa de cobre de molde.
25

Cuando se colocan más termopares, la temperatura (distribución de temperatura) de la placa de cobre de molde puede medirse con más detalle, lo que es ventajoso. Con una medición más detallada de la temperatura de la placa de cobre de molde, un efecto esperado es que puede predecirse y detectarse de manera más fiable un derrame del
30 acero fundido. Además, con una medición más detallada de la temperatura de la placa de cobre de molde, otro efecto esperado es que, como resultado de la precisión mejorada de la estimación de la condición de flujo del acero fundido y el espesor de la coraza, se mejora la precisión de la estimación de la calidad superficial de la pieza colada. Sin embargo, surge un problema porque la colocación de un gran número de termopares puede dar como resultado un aumento en la frecuencia de fallo del termopar. En particular, en los últimos años, hay una tendencia a que la
35 calidad de una pieza colada formada en el molde se controle mediante un aparato de agitación electromagnética y un aparato de freno electromagnético, que se proporcionan en el molde. Como resultado, dado que se produce una interferencia física con estos aparatos, la sustitución y la reparación de un termopar defectuoso se han vuelto extremadamente difíciles.

40 Con el fin de resolver los problemas que se han descrito hasta ahora, se propone, por ejemplo, un método para medir la temperatura de una placa de cobre de molde como se describe en la bibliografía de patentes 1 (JP2002-113562A). Específicamente, la bibliografía de patentes 1 describe problemas al medir la temperatura de una placa de cobre de molde con un termopar, especialmente cuando se proporciona un aparato de agitación electromagnética. La bibliografía de patentes 1 describe, como una solución de la misma, un método para medir la
45 temperatura de una posición predeterminada dentro de una placa de cobre de molde proporcionando un agujero de inserción que se abre en la superficie superior de la placa de cobre de molde y se extiende en la placa de cobre de molde, e insertando un termopar en el agujero de inserción.

Además, como método para medir la temperatura de la superficie del material de matriz mediante el uso de ondas ultrasónicas, se propone un método descrito en la bibliografía de patentes 2 (JP2007-33077A). Para ser específico, la bibliografía de patentes 2 describe un método para medir la temperatura de una superficie adyacente (una
50 superficie lateral 2a mostrada en la figura 2 de la bibliografía de patentes 2) del material de matriz al acero fundido, donde el cambio de temperatura es demasiado rápido para medirlo por un termopar cuya respuesta es lenta, usando ondas ultrasónicas. Para ser más específico, la bibliografía de patentes 2 describe un agujero que se forma para la reflexión de ondas ultrasónicas cuya cara inferior es plana en la superficie adyacente descrita anteriormente, y se mide la diferencia de tiempo de propagación entre los ecos ultrasónicos que se reflejan respectivamente en la superficie adyacente descrita anteriormente y la superficie inferior del agujero descrito anteriormente. Además, la bibliografía de patentes 2 describe un método para determinar la velocidad de propagación de una onda ultrasónica
55 a partir de la diferencia de tiempo de propagación medida descrita anteriormente y la distancia entre la superficie adyacente y la superficie inferior del agujero, y determinar la temperatura de la superficie adyacente a partir de la dependencia térmica predeterminada de la velocidad de propagación de la onda ultrasónica en el material de matriz.
60

Divulgación de la invención

65 (1) Problemas de fallo del termopar y su interferencia con otros equipos

Como se ha descrito anteriormente, de manera convencional, la temperatura de una placa de cobre de molde de una máquina de colada continua se mide usando un termopar que se inserta en la placa de cobre de molde desde su superficie trasera (la superficie opuesta a una superficie adyacente al acero fundido de la placa de cobre de molde).

Sin embargo, como también se ha descrito en la bibliografía de patentes 1, la posición en la que se une el termopar es contigua a una trayectoria del agua de enfriamiento de molde, y el molde está constantemente expuesto a una vibración denominada oscilación. Por esta razón, el agua de enfriamiento puede corroer el tubo de protección del termopar, y el agua de enfriamiento puede entrar en el agujero de inserción del termopar, provocando un error significativo en la temperatura medida.

Además, en los últimos años, como se ha descrito anteriormente, un equipo tal como un aparato de agitación electromagnética y un aparato de freno electromagnético se proporciona adyacente a la superficie trasera de la placa de cobre de molde, interfiriendo estos equipos físicamente con el termopar y el cableado de los mismos. Debido a esto, cuando se sustituye un termopar defectuoso, lleva tiempo y esfuerzo separar los equipos, como el aparato de agitación electromagnética y el aparato de freno electromagnético, siendo necesario detener la colada continua durante muchas horas, lo que perjudica significativamente la productividad.

Por lo tanto, en un método convencional para medir la temperatura de una placa de cobre de molde mediante el uso de un termopar, existe el problema de que el termopar puede emitir un valor anormal provocado por una corrosión del termopar y la entrada de agua de enfriamiento en puntos de medición de temperatura. Además, también es un problema que se hayan usado equipos tales como un aparato de agitación electromagnética y un aparato de freno electromagnético, dificultando de este modo la sustitución de un termopar defectuoso.

(2) Problemas del termopar

La medición de la temperatura mediante el uso de un termopar se limita a la medición de la temperatura local en las proximidades de la parte de borde delantera del termopar. Como se ha descrito anteriormente, es habitual que el termopar esté dispuesto de tal manera que el punto de medición de temperatura se localice de 5 a 20 mm de distancia de una superficie adyacente al acero fundido de la placa de cobre de molde. Debido a esto, una temperatura medida por el termopar solo representa la temperatura de un área dentro de varias decenas de mm en las proximidades del punto de medición de temperatura descrito anteriormente.

Por un lado, cuando la placa de cobre de molde tiene una forma de placa plana, la superficie adyacente de la misma con el acero fundido puede tener, por ejemplo, un área de aproximadamente 900 mm x 2000 mm. Debido a esto, para medir con todo detalle la temperatura de toda la superficie adyacente con termopar, se necesita un número extremadamente grande de termopares, lo que es sustancialmente imposible de realizar, y, por lo tanto, en realidad, el número de termopares a usar se restringe a un número factible. Por ejemplo, en el ejemplo descrito en la bibliografía de patentes 1, hay aproximadamente 26 puntos de medición de temperatura en una superficie adyacente al acero fundido de la placa de cobre de molde.

(3) Problemas con el método descrito en la bibliografía de patentes 1

Los problemas con el método descrito en la bibliografía de patentes 1 incluyen, además de los problemas descritos anteriormente en (2), que existe una limitación en la posición en la dirección de altura para colocar los termopares. En general, como termopar, se usa un termopar de vaina que tiene la forma exterior de un diámetro de aproximadamente 3 a 5 mm desde el punto de vista de las propiedades mecánicas, resistencia a la corrosión, capacidad de respuesta y similares requeridas. Para hundir este termopar dentro de la placa de cobre de molde, es necesario hacer un agujero de inserción delgado y profundo con precisión usando un taladro, etc., como se muestra en la figura 1 de la bibliografía de patentes 1.

Sin embargo, es difícil hacer un agujero de inserción profundo que tenga un diámetro pequeño como se ha descrito anteriormente. Como se deduce al menos de la especificación de un taladro de carburo disponible en el mercado, etc., se considera que una profundidad de aproximadamente 50 mm a 60 mm como máximo es el límite cuando se hace un agujero de inserción que tiene un diámetro de aproximadamente 3 mm en la placa de cobre de molde. Como se muestra en la figura 1 de la bibliografía de patentes 1, incluso cuando se hace un agujero de inserción que es ligeramente más grande que el termopar desde una superficie superior de la placa de cobre de molde, hacer un agujero de inserción excesivamente grande perjudicará la conducción de calor de la placa de cobre de molde y, por lo tanto, no es deseable. Por esta razón, por ejemplo, si va a hacerse un agujero de inserción que tiene un diámetro de 6 mm, se considera que el límite es una profundidad de aproximadamente 90 mm. En otras palabras, el punto de medición de temperatura del termopar a insertar en este agujero de inserción está limitado a una posición más alta que la posición a aproximadamente 90 mm de distancia hacia abajo de la superficie superior de la placa de cobre de molde.

En general, puesto que los valores de temperatura medidos estables no pueden obtenerse en la superficie del acero fundido debido al rizado (ruffling) de la superficie de acero fundido, se considera que el área de medición de

temperatura incluye una posición de aproximadamente varios cm a 10 cm retrocedidos desde la superficie de acero fundido y posiciones por debajo de la misma. Por esta razón, cuando, por ejemplo, se proporciona un punto de medición de temperatura en una posición a 90 mm de distancia de la superficie superior de la placa de cobre de molde, la superficie del acero fundido será más alta que esa posición en al menos varios cm y, por lo tanto, habrá más riesgo de que el acero fundido se desborde del molde cuando la superficie de acero fundido fluctúe levemente o cuando esté en un estado inestable. Además, el punto de medición de temperatura está limitado a una posición más alta que la posición a aproximadamente 90 mm de distancia hacia abajo de la superficie superior de la placa de cobre de molde. Por esta razón, no puede medirse la temperatura en una posición más baja desde la posición a 90 mm de distancia de la superficie superior de la placa de cobre de molde, que puede ser insuficiente para detectar un derrame del acero fundido en el molde.

Como se ha descrito hasta ahora, existen los siguientes problemas con el método descrito en la bibliografía de patentes 1.

- (a) Es difícil hacer un agujero de inserción que tenga una profundidad adecuada, y la viabilidad del método es baja.
- (b) El punto de medición de temperatura está limitado dentro de un intervalo de hasta aproximadamente 90 mm hacia abajo desde la superficie superior de la placa de cobre de molde. Como resultado, surgen problemas porque existe el riesgo de desbordamiento del acero fundido y no es posible detectar un derrame del acero fundido en una posición por debajo del punto de medición de temperatura.

(4) Problemas con el método descrito en la bibliografía de patentes 2

El método descrito en la bibliografía de patentes 2 requiere que se forme un agujero de fondo plano que tiene un diámetro de aproximadamente 1 mm y una profundidad de aproximadamente 1 mm a 2 mm en una superficie adyacente del material de matriz al acero fundido (párrafo 0025 de la bibliografía de patentes 2). Cuando este método se aplica a una placa de cobre de molde para colada continua, el agujero de fondo plano descrito anteriormente se proporcionará en la superficie adyacente al acero fundido de la placa de cobre de molde. Como resultado, existe la preocupación de que la transferencia de calor del acero fundido a la placa de cobre de molde en la parte donde se forma el agujero de fondo plano descrito anteriormente sea diferente de las partes circundantes, y que un lubricante, denominado polvo, entre en el agujero de fondo plano descrito anteriormente, formando de este modo una parte saliente o que una parte del acero entre en el mismo. Esto puede provocar la aparición de un defecto en la pieza colada y un aumento en el riesgo de aparición de un derrame del acero fundido. Además, dado que la profundidad del agujero de fondo plano es de aproximadamente 1 a 2 mm, la diferencia de tiempo de propagación (diferencia de tiempo de propagación en un recorrido de ida y vuelta) entre los ecos ultrasónicos reflejados en la superficie inferior del agujero de fondo plano y la superficie adyacente al acero fundido será de aproximadamente 0,02 ns, y es necesario detectar un cambio mínimo en la diferencia de tiempo por temperatura. Con este fin, se requiere una técnica de detección con una resolución/precisión de tiempo muy alta, lo que provoca un coste excesivamente alto de los aparatos. Además, es probable que el eco ultrasónico del agujero de fondo plano y el eco ultrasónico de la superficie adyacente al acero fundido interfieran entre sí y, con el fin de evitar esto, se requiere una onda ultrasónica de alta frecuencia. Sin embargo, una onda ultrasónica de frecuencia más alta es más difícil de propagar y, por lo tanto, es desventajosa para realizar mediciones en un amplio intervalo. Desde los puntos de vista descritos anteriormente, el método descrito en la bibliografía de patentes 2 está destinado a usarse en la estimación de la conductividad térmica, etc., de un agente de liberación de molde aplicado a la superficie de las matrices a usar en coladas distintas de la colada continua, y es difícil aplicar el método a la medición de temperatura de la placa de cobre de molde para colada continua.

Además, aunque el método descrito en la bibliografía de patentes 2 puede aplicarse a la medición de temperatura de una placa de cobre de molde para colada continua, se obtiene un valor de temperatura medido de un solo punto (en sentido estricto, una temperatura promedio del intervalo de una profundidad de aproximadamente 1 a 2 mm desde la superficie adyacente) en una superficie adyacente al acero fundido de la placa de cobre de molde. Además, con el fin de hacer que una onda ultrasónica incida normalmente sobre la superficie adyacente descrita anteriormente, es necesario unir un sensor ultrasónico a una superficie opuesta a la superficie adyacente descrita anteriormente. Como se ha descrito hasta ahora, la posición de unión está junto a la trayectoria del agua de enfriamiento de molde, y existe la posibilidad de que el sensor ultrasónico falle debido a fugas de agua, etc. Además, debido a la interferencia física con un aparato de agitación electromagnética, un aparato de freno electromagnético, y un equipo incidental del mismo, la unión del sensor ultrasónico es difícil, y su sustitución en el momento del fallo también es difícil. Sustituir el sensor ultrasónico perjudicará significativamente la productividad, tal como haciendo que la colada continua se detenga durante muchas horas.

Como se ha descrito hasta ahora, el método descrito en la bibliografía de patentes 2 tiene los siguientes problemas.

- (a) Dado que existe el riesgo de aparición de un defecto en la pieza colada, y similares, es difícil aplicar el método en cuestión a la medición de temperatura de una placa de cobre de molde para colada continua.
- (b) Incluso si el método puede aplicarse, puede obtenerse un valor de temperatura medido de un solo punto en la superficie adyacente al acero fundido de la placa de cobre de molde, y además la sustitución de un sensor

ultrasónico defectuoso es difícil ya que el equipo, tal como el aparato de agitación electromagnética y el aparato de freno electromagnético, interfieren físicamente con el sensor ultrasónico.

(c) Se requiere un aparato de detección con una resolución de tiempo muy alta, lo que provoca un coste excesivamente alto.

La presente invención se ha realizado para resolver los problemas descritos anteriormente de las técnicas convencionales, y su objeto es proporcionar un método y un aparato capaces de medir la temperatura de una placa de cobre de molde que constituye un molde para colada continua de metal fundido, en un amplio intervalo del área de medición de temperatura con precisión y sin perjudicar la productividad de la colada continua.

Para lograr el objeto, la presente invención proporciona un método para medir la temperatura de una placa de cobre de molde que constituye un molde de colada continua para metal fundido, comprendiendo el método: un primer procedimiento para proporcionar una fuente de reflexión de onda ultrasónica dentro de la placa de cobre de molde; un segundo procedimiento para hacer que una onda ultrasónica se propague en una dirección en paralelo con una superficie adyacente al metal fundido de la placa de cobre de molde desde un elemento transceptor ultrasónico hacia la fuente de reflexión; y un tercer procedimiento para calcular la temperatura de la placa de cobre de molde basándose en un eco ultrasónico que se refleja en la fuente de reflexión y se detecta por el elemento transceptor ultrasónico.

De acuerdo con la invención, puesto que la temperatura de la placa de cobre de molde se calcula basándose en un eco ultrasónico reflejado en una fuente de reflexión proporcionada dentro de la placa de cobre de molde (basándose específicamente en, por ejemplo, el tiempo de propagación de un eco ultrasónico y la dependencia térmica (correspondencia entre la velocidad de propagación y la temperatura) de la velocidad de propagación de la onda ultrasónica), es posible medir a la vez las temperaturas (temperatura promedio) de la placa de cobre de molde en todas partes en una trayectoria de propagación de la onda ultrasónica. En otras palabras, en comparación con lo convencional, la medición de temperatura solo es posible sustancialmente en un punto de medición de temperatura por un termopar o un elemento transceptor ultrasónico, ahora es posible medir temperaturas de la placa de cobre de molde en un amplio intervalo del área de medición de temperatura por un elemento transceptor ultrasónico.

Además, puesto que se hace que la onda ultrasónica se propague en la dirección paralela con la superficie adyacente al metal fundido de la placa de cobre de molde, no hay necesidad de unir el elemento transceptor ultrasónico a una superficie opuesta a la superficie adyacente. Es decir, el elemento transceptor ultrasónico puede unirse a cualquiera de la superficie superior, la superficie inferior y la superficie lateral de la placa de cobre de molde, excepto a la superficie adyacente y a una superficie opuesta a la superficie adyacente. Por lo tanto, el elemento transceptor ultrasónico puede disponerse separado de la trayectoria del agua de enfriamiento de molde, y es posible reducir los fallos del elemento transceptor ultrasónico y la aparición de errores de medición debidos a fugas de agua. Además, es menos probable que el elemento transceptor ultrasónico interfiera físicamente con equipos tales como un aparato de agitación electromagnética y un aparato de freno electromagnético, y cuando el elemento transceptor ultrasónico falla, puede sustituirse con relativa facilidad, sin perjudicar la productividad de la colada continua.

Como se ha descrito hasta ahora, de acuerdo con el método para medir la temperatura de una placa de cobre de molde para colada continua en relación con la presente invención, es posible medir la temperatura de la placa de cobre de molde en un amplio intervalo del área de medición de temperatura con precisión y sin perjudicar la productividad de la colada continua.

Preferentemente, la fuente de reflexión proporcionada en el primer procedimiento es un agujero que se abre en una superficie opuesta a una superficie adyacente al metal fundido de la placa de cobre de molde y se extiende en la placa de cobre de molde.

De acuerdo con dicho método preferible, es posible proporcionar una fuente de reflexión con relativa facilidad, y además de eso, también es posible convertir un agujero de inserción de termopar existente para su uso como una fuente de reflexión.

Además, incluso si el agua de enfriamiento de molde entra por una abertura en el agujero, la intensidad del eco ultrasónico que se refleja en la fuente de reflexión no cambiará significativamente en comparación con el momento anterior a la entrada del agua de enfriamiento. Además de eso, puesto que la temperatura se mide basándose en el tiempo de propagación, no en la intensidad del eco ultrasónico reflejado en la fuente de reflexión, el efecto de la entrada del agua de enfriamiento no es significativo. Para reducir aún más el efecto de la entrada del agua de enfriamiento, el agujero puede llenarse con resina o puede taparse.

Además, el agujero no se abre en la superficie adyacente al metal fundido, sino en la superficie opuesta a la superficie adyacente. Como resultado, es posible evitar que la transferencia de calor del metal fundido a la placa de cobre de molde varíe localmente debido al agujero y que una parte del metal fundido entre en el agujero, y lograr el efecto de reducir los riesgos de que se produzca un defecto en la pieza colada y se produzca un derrame de metal fundido.

Preferentemente, en el primer procedimiento, una pluralidad de fuentes de reflexión se proporcionan en una trayectoria de propagación de una onda ultrasónica que se transmite desde uno o un par de elementos transceptores ultrasónicos; y en el tercer procedimiento, la temperatura de una sección de la placa de cobre de molde entre un par arbitrariamente seleccionado de fuentes de reflexión entre la pluralidad de fuentes de reflexión se calcula basándose en la diferencia de tiempo de propagación entre los ecos ultrasónicos que se reflejan respectivamente en el par seleccionado de fuentes de reflexión y en la dependencia térmica de la velocidad de propagación de una onda ultrasónica.

De acuerdo con este método preferido, puesto que una pluralidad de fuentes de reflexión se proporcionan en la trayectoria de propagación de la onda ultrasónica, y la temperatura de la placa de cobre de molde se calcula basándose en la diferencia de tiempo de propagación entre los ecos ultrasónicos que se reflejan respectivamente en un par arbitrariamente seleccionado de fuentes de reflexión, es posible aumentar la resolución espacial de la medición de temperatura y mejorar la sensibilidad en la variación de temperatura local.

Además, puesto que aumenta el número de puntos de medición de temperatura por un elemento transceptor ultrasónico, el método también tiene la ventaja de que puede reducirse el coste del aparato necesario para la medición.

Además, incluso en el caso de un elemento transceptor ultrasónico (un par de elementos de transmisor y receptor ultrasónicos) en el que el elemento transmisor ultrasónico y el elemento receptor ultrasónico están compuestos por elementos diferentes, es posible lograr efectos similares proporcionando una pluralidad de fuentes de reflexión en la trayectoria de propagación de la onda ultrasónica en relación con el elemento transmisor ultrasónico y el elemento receptor ultrasónico.

Por ejemplo, en el segundo procedimiento, un elemento transceptor ultrasónico puede estar dispuesto en una superficie superior de la placa de cobre de molde.

Cuando el elemento transceptor ultrasónico está dispuesto en la superficie superior de la placa de cobre de molde, puede haber una fuerte radiación de calor procedente de una boquilla de artesa distribuidora de colada que está dispuesta por encima del molde. Por lo tanto, si el elemento transceptor ultrasónico está dispuesto como lo está en la superficie superior de la placa de cobre de molde, se verá expuesto a altas temperaturas, provocando el riesgo de aparición de fallos y errores de medición. Por esta razón, es preferible enfriar (incluso aislar) el elemento transceptor ultrasónico a disponer en la superficie superior de la placa de cobre de molde.

Para lograr el objeto, la presente invención también proporciona un aparato para medir la temperatura de una placa de cobre de molde que constituye un molde de colada continua para metal fundido, estando la placa de cobre de molde provista de una fuente de reflexión ultrasónica en la misma, comprendiendo el aparato: un elemento transceptor ultrasónico que hace que una onda ultrasónica se propague en una dirección en paralelo con una superficie adyacente al metal fundido de la placa de cobre de molde hacia la fuente de reflexión; y un dispositivo de cálculo para calcular la temperatura de la placa de cobre de molde basándose en el tiempo de propagación de un eco ultrasónico que se refleja en la fuente de reflexión y se detecta por el elemento transceptor ultrasónico y en la dependencia térmica de la velocidad de propagación de la onda ultrasónica.

De acuerdo con el método y el aparato para medir la temperatura de una placa de cobre de molde para colada continua en relación con la presente invención, es posible medir la temperatura de la placa de cobre de molde en un amplio intervalo del área de medición de temperatura con precisión y sin perjudicar la productividad de la colada continua.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una vista en sección para ilustrar el principio del método para medir la temperatura de una placa de cobre de molde para colada continua en relación con la presente invención.

Las figuras 2 (figura 2A, 2B y 2C) son diagramas para mostrar esquemáticamente un ejemplo de configuración del aparato para realizar el método para medir la temperatura de una placa de cobre de molde para colada continua en relación con la presente invención. La figura 2A es un diagrama para representar una configuración esquemática de todo el aparato, la figura 2B es una vista en planta para mostrar la proximidad del elemento transceptor ultrasónico en un estado de transmisión interna, y la figura 2C es una vista en sección tomada a lo largo de A-A como se muestra por una flecha en la figura 2B.

La figura 3 muestra un ejemplo de un eco ultrasónico cuando se hace incidir una onda ultrasónica desde la superficie superior de la placa de cobre de molde para colada continua que se ha usado en la operación real.

La figura 4 muestra un ejemplo de un eco ultrasónico reflejado en un agujero ranurado proporcionado dentro de una placa de cobre de molde.

La figura 5 es una vista en sección para ilustrar el esquema de un ensayo relacionado con una realización de la presente invención.

La figura 6 muestra un ejemplo de un eco ultrasónico reflejado en un agujero de inserción de termopar como la fuente de reflexión, que se obtiene en el ensayo mostrado en la figura 5.

La figura 7 muestra un ejemplo de un eco ultrasónico (un eco de superficie inferior) reflejado en una superficie inferior de la placa de cobre de molde, que se obtiene en el ensayo mostrado en la figura 5.

La figura 8 es una gráfica para mostrar un ejemplo de las temperaturas promedio respectivas calculadas en una sección de cálculo incluida en una unidad de control de cálculo, y las temperaturas medidas por unos termopares primero y segundo, que se obtienen en el ensayo mostrado en la figura 5.

Mejor modo para realizar la invención

En lo sucesivo en el presente documento, se describirá una realización de la presente invención con referencia a los dibujos adjuntos, según proceda.

La figura 1 es una vista en sección para ilustrar el principio del método para medir la temperatura de una placa de cobre de molde para colada continua en relación con la presente invención. Tal como se muestra en la figura 1, el método para medir la temperatura en relación con la presente invención es un método para medir la temperatura de una placa de cobre de molde C que constituye un molde para colada continua de metal fundido M. Se observa que mientras que la placa de cobre de molde C tenga una forma de placa plana cuando el molde para colada continua tenga una forma de tubo rectangular, y la placa de cobre de molde C tenga una forma de tubo circular cuando el molde para colada continua tenga una forma de tubo circular, el método para medir la temperatura en relación con la presente invención podrá aplicarse a cualquier caso. En lo sucesivo en el presente documento, se hará una descripción tomando como ejemplo un caso donde el metal fundido M es acero fundido, el molde para colada continua tiene una forma de tubo rectangular y la placa de cobre de molde C tiene una forma de placa plana.

Como se muestra en la figura 1, un método para medir la temperatura en relación con la presente invención incluye un primer procedimiento para proporcionar una fuente de reflexión R de la onda ultrasónica dentro de la placa de cobre de molde C, un segundo procedimiento para hacer que una onda ultrasónica U se propague en una dirección sustancialmente en paralelo con una superficie adyacente C1 con el acero fundido M de la placa de cobre de molde C desde un elemento transceptor ultrasónico 1 hacia la fuente de reflexión R, y un tercer procedimiento para calcular la temperatura de la placa de cobre de molde C basándose en el tiempo de propagación de un eco ultrasónico reflejado en la fuente de reflexión R y detectado por el elemento transceptor ultrasónico 1, y la dependencia térmica (correspondencia entre la velocidad de propagación y la temperatura) de la velocidad de propagación de la onda ultrasónica.

Para ser específicos, por ejemplo, basándose en un tiempo de propagación T1 de un eco ultrasónico U1 reflejado en la fuente de reflexión R1 y detectado por el elemento transceptor ultrasónico 1, y la distancia L1 desde el punto incidente de la onda ultrasónica a la fuente de reflexión R1, la velocidad de propagación de la onda ultrasónica se determina mediante la siguiente ecuación (1).

$$\text{Velocidad de propagación de onda ultrasónica} = (\text{distancia L1 a la fuente de reflexión R1}) \times 2 / \text{tiempo de propagación T1} \quad (1)$$

A continuación, basándose en esta velocidad de propagación y la dependencia térmica predeterminada de la velocidad de propagación de la onda ultrasónica en la placa de cobre de molde C, es posible calcular la temperatura de la placa de cobre de molde C. Esta temperatura calculada corresponde a la temperatura promedio de una sección desde el punto incidente de la onda ultrasónica (la superficie superior de la placa de cobre de molde en el ejemplo mostrado en la figura 1) hasta la fuente de reflexión R1.

Además, tal como se muestra en la figura 1, proporcionar una pluralidad de fuentes de reflexión R (una pluralidad de fuentes de reflexión R1, R2 y R3 en el ejemplo mostrado en la figura 1) en la trayectoria de propagación de la onda ultrasónica U transmitida desde un elemento transceptor ultrasónico 1 permite que, basándose en la diferencia de tiempo de propagación entre los ecos ultrasónicos que se reflejan respectivamente por un par arbitrariamente seleccionado de fuentes de reflexión entre la pluralidad de fuentes de reflexión R (R1, R2, R3) y en la dependencia térmica de la velocidad de propagación de la onda ultrasónica, se calcule una temperatura promedio de la placa de cobre de molde C en una sección entre el par seleccionado de fuentes de reflexión R.

Para ser específicos, por ejemplo, se seleccionan un par de fuentes de reflexión R1 y R2, y basándose en la diferencia $\Delta T12$ ($= T2 - T1$) entre el tiempo de propagación T2 de un eco ultrasónico U2 reflejado en la fuente de reflexión R2, y el tiempo de propagación T1 de un eco ultrasónico U1 reflejado en la fuente de reflexión R1, y una distancia L12 entre las fuentes de reflexión R1 y R2, la velocidad de propagación de la onda ultrasónica se determina mediante la siguiente ecuación (2).

$$\text{Velocidad de propagación de onda ultrasónica} = (\text{distancia L12 entre fuentes de reflexión R1 y R2}) \times 2 / \text{diferencia de tiempo de propagación } \Delta T12 \quad (2)$$

A continuación, basándose en esta velocidad de propagación y la dependencia térmica predeterminada de la velocidad de propagación de la onda ultrasónica en la placa de cobre de molde C, puede calcularse la temperatura de la placa de cobre de molde C. La temperatura calculada corresponde a una temperatura promedio de una

sección entre las fuentes de reflexión R1 y R2.

Se observa que la dependencia térmica de la velocidad de propagación de la onda ultrasónica en la placa de cobre de molde C puede determinarse usando, por ejemplo, una muestra compuesta por la placa de cobre de molde C o un material similar al de la placa de cobre de molde C, y que tiene un tamaño pequeño. Para ser específicos, por ejemplo, se proporciona una fuente de reflexión R en una posición a una distancia corta predeterminada (por ejemplo, aproximadamente 100 mm) de la superficie de extremo de la placa de cobre de molde C o la muestra, y se calienta la sección desde la superficie de extremo a esta fuente de reflexión R. A continuación, se hace incidir una onda ultrasónica desde un elemento transceptor ultrasónico colocado en la superficie de extremo descrita anteriormente, y se mide el tiempo transcurrido desde el momento en que se detecta un eco de superficie superior reflejado en la superficie de extremo descrita anteriormente hasta el momento en que se detecta un eco ultrasónico reflejado en la fuente de reflexión R. Se supone que este tiempo transcurrido es el tiempo de propagación del eco ultrasónico reflejado en la fuente de reflexión R. A continuación, basándose en el tiempo de propagación medido y la distancia de propagación de la onda ultrasónica, se calcula la velocidad de propagación de la onda ultrasónica y, basándose en la velocidad de propagación y los valores de temperatura medidos, puede calcularse la dependencia térmica (correspondencia entre la velocidad de propagación y la temperatura) de la velocidad de propagación de la onda ultrasónica. Cuando, por ejemplo, la fuente de reflexión R es un agujero como se describe a continuación, el valor de temperatura medido descrito anteriormente puede medirse mediante un termopar unido al interior del agujero. Cuando la fuente de reflexión R se proporciona a una corta distancia del punto incidente de la onda ultrasónica (superficie de extremo) como se ha descrito anteriormente, es posible determinar la posición de mecanizado de la fuente de reflexión R con una precisión relativamente alta y, por lo tanto, también es posible determinar con precisión la distancia de propagación de la onda ultrasónica que sirve como referencia cuando se calcula la velocidad de propagación de la onda ultrasónica. Como resultado, también es posible calcular con precisión la dependencia térmica de la velocidad de propagación de la onda ultrasónica.

Como se muestra en la figura 1, la fuente de reflexión R es preferentemente un agujero que se abre en una superficie C2 opuesta a una superficie adyacente C1 con el acero fundido M de la placa de cobre de molde C, y se extiende en la placa de cobre de molde C. Aunque se dice que la onda ultrasónica se refleja si hay un espacio de varias decenas de nm, si el eco ultrasónico que se refleja en la fuente de reflexión R puede detectarse o no depende del área de la fuente de reflexión R (el área en la dirección normal a la dirección de propagación de la onda ultrasónica), la atenuación de la onda ultrasónica dentro de la placa de cobre de molde C, los ecos de ruido de otras fuentes de reflexión (por ejemplo, un eco ultrasónico que se refleja en una ranura como la trayectoria del agua de enfriamiento de molde), etc. Como el agujero descrito anteriormente, es preferible adoptar, por ejemplo, un agujero de taladro que tenga un diámetro de aproximadamente 1 mm a 5 mm, y un agujero ranurado que tenga un espacio de aproximadamente 0,3 mm a 1 mm, una anchura de aproximadamente 0,3 mm a 10 mm, y una longitud de aproximadamente varios mm a varias decenas de mm.

El agujero descrito anteriormente es, como se ha descrito anteriormente, un agujero que se abre en la superficie C2 opuesta a la superficie adyacente C1 con el acero fundido M de la placa de cobre de molde C, y se extiende en la placa de cobre de molde C. En general, el espesor de la placa de cobre de molde C es de aproximadamente 35 mm a 45 mm, y se proporciona una ranura como la trayectoria para el agua de enfriamiento de molde en la superficie opuesta C2. Suponiendo que la ranura tiene una profundidad de, por ejemplo, aproximadamente 20 mm, la profundidad del agujero descrito anteriormente debe ser mayor que la profundidad de la ranura. Por esta razón, como el agujero descrito anteriormente, por ejemplo, puede convertirse con este fin un agujero de inserción de termopar que se ha usado convencionalmente, o puede formarse nuevamente un agujero que tiene un tamaño similar al del agujero de inserción de termopar. Además, cuando se usa un agujero ranurado que se forma por mecanizado de descarga eléctrica como el agujero descrito anteriormente, es posible colocar la parte inferior del agujero más cerca de la superficie adyacente C1 que en el caso del agujero de inserción de termopar. Esto se debe a que el volumen del agujero puede hacerse lo suficientemente más pequeño que el del agujero de inserción de termopar (que tiene un diámetro de aproximadamente 3 mm a 4 mm), y la transferencia de calor de la placa de cobre de molde C probablemente no se vea afectada. En general, la parte inferior del agujero de inserción de termopar que tiene un diámetro de aproximadamente 3 mm a 4 mm se localiza al menos a aproximadamente 5 mm de distancia de la superficie adyacente C1. Al contrario de esto, en el caso de un agujero ranurado que tiene un espacio de aproximadamente 0,5 mm y una anchura de aproximadamente 3 mm, se considera posible colocar la parte inferior del mismo tan cerca como aproximadamente 2 a 3 mm de la superficie adyacente C1. Por lo tanto, al colocar la parte inferior del agujero más cerca de la superficie adyacente C1 con el acero fundido M de la placa de cobre de molde C y disponer el elemento transceptor ultrasónico 1 de tal manera que una onda ultrasónica se propague hacia las proximidades de la parte inferior en cuestión, se hace posible lograr la ventaja de que se mejore la sensibilidad a la variación de temperatura del acero fundido M y la coraza (la parte de coraza exterior del acero que se ha solidificado en el molde).

El agujero como la fuente de reflexión R no está limitado a uno que tiene el interior hueco, y puede llenarse con el mismo material que la placa de cobre de molde C o un material diferente del mismo. Por ejemplo, el agujero descrito anteriormente puede llenarse con un metal distinto del cobre o con resina. Cuando se llena con metal, puede proporcionarse un pequeño espacio (aproximadamente varias decenas de nm) entre la superficie interior del agujero y el material de relleno. Además, cuando se llena con resina, es preferible seleccionar una resina que tenga

resistencia térmica, teniendo en cuenta la temperatura de la parte a llenar con la resina. Al llenar el interior del agujero con estos materiales de relleno, es posible evitar la entrada del agua de enfriamiento de molde.

Se observa que, como se describe a continuación, cuando se proporciona la fuente de reflexión R en una posición de 100 mm desde la superficie de extremo de la placa de cobre de molde C, si la temperatura promedio de la sección desde la superficie de extremo a la fuente de reflexión R cambia 1 °C (o cuando se proporcionan dos fuentes de reflexión R en un intervalo de 100 mm, y si la temperatura promedio de la sección entre las dos fuentes de reflexión R cambia 1 °C), el tiempo (propagación de ida y vuelta) para que la onda ultrasónica se propague entre la superficie de extremo y la fuente de reflexión R (o entre las dos fuentes de reflexión R) cambiará en aproximadamente 5 ns. Por un lado, la distancia a la que se propaga la onda ultrasónica durante el período de tiempo de 5 ns es de aproximadamente 10 µm. Es decir, para obtener una precisión de medición de temperatura de 1 °C, es necesario conocer la distancia desde la superficie de extremo a la fuente de reflexión R (o la distancia entre las dos fuentes de reflexión R) con una precisión de 10 µm.

Para conocer la distancia desde la superficie de extremo a la fuente de reflexión R (o la distancia entre las dos fuentes de reflexión R), hay dos métodos. Uno es un método para determinar la posición de mecanizado de la fuente de reflexión R con alta precisión, y el otro es un método para medir con precisión la posición de la fuente de reflexión R que se ha mecanizado. El primer método tiene el problema de que si se requiere la precisión descrita anteriormente para todas las fuentes de reflexión R proporcionadas en la placa de cobre de molde C que tiene un área grande de aproximadamente 900 mm x 2000 mm, el coste aumentará. Por otro lado, el último método tiene la ventaja de que la fuente de reflexión R puede mecanizarse con una precisión de mecanizado de aproximadamente varios cientos de µm, o con una precisión de mecanizado menor que esa.

Para ser específicos, después de que el elemento transceptor ultrasónico 1 se coloca en la superficie de extremo de la placa de cobre de molde C, el elemento transceptor ultrasónico 1 detecta el tiempo de propagación del eco ultrasónico procedente de la fuente de reflexión R a una temperatura de referencia, y a partir del tiempo de propagación detectado y la velocidad de propagación de la onda ultrasónica a la temperatura de referencia obtenida basándose en la dependencia térmica predeterminada de la velocidad de propagación de la onda ultrasónica, es posible determinar inversamente la distancia L1 a la fuente de reflexión R o la distancia L12 entre las fuentes de reflexión R usando la ecuación (1) y la ecuación (2) descritas anteriormente. En este método, es posible determinar la distancia L1 a la fuente de reflexión R o la distancia L12 entre las fuentes de reflexión R con un coste relativamente bajo y con una alta precisión.

Se observa que la temperatura de referencia descrita anteriormente puede ser cualquier temperatura siempre que sea fácil gestionar que la placa de cobre de molde C esté a una temperatura fija. En general, la temperatura de referencia puede establecerse como un estado de temperatura constante, o un estado en el que la placa de cobre de molde C esté aislada del calor a una temperatura cercana a la temperatura ambiente y la temperatura general de la placa de cobre de molde C esté estabilizada. El método para implementar la temperatura de referencia puede ser otro método siempre que pueda reproducirse como un estado considerado como un equilibrio térmico, o como un estado que pueda considerarse como un estado estable en términos de temperatura, o pueda estimarse el estado de temperatura con alta precisión por cálculo, etc.

La figura 2 es un diagrama para mostrar esquemáticamente un ejemplo de configuración del aparato para realizar el método para medir la temperatura de una placa de cobre de molde para colada continua en relación con la presente invención. La figura 2A es un diagrama para representar una configuración esquemática de todo el aparato, la figura 2B es una vista en planta para mostrar las proximidades del elemento transceptor ultrasónico en un estado de transmisión interna, y la figura 2C es una vista en sección tomada a lo largo de A-A como se muestra por una flecha en la figura 2B. Como se muestra en la figura 2, un aparato para medir la temperatura de una placa de cobre de molde para colada continua (en lo sucesivo en el presente documento, adecuadamente abreviado como un "aparato de medición de temperatura") 100 en relación con la presente invención incluye un elemento transceptor ultrasónico 1 que hace que una onda ultrasónica U se propague en una dirección sustancialmente en paralelo con una superficie adyacente C1 con el acero fundido M de la placa de cobre de molde C hacia la fuente de reflexión R descrita anteriormente (no mostrada en la figura 2), y un dispositivo de cálculo que calcula la temperatura de la placa de cobre de molde C basándose en el tiempo de propagación del eco ultrasónico reflejado en la fuente de reflexión R y detectado por el elemento transceptor ultrasónico 1, y la dependencia térmica de la velocidad de propagación de la onda ultrasónica.

Además, como se muestra en la figura 2, el aparato de medición de temperatura 100 en relación con la presente realización incluye una unidad de control de transmisión/recepción 2 para controlar la transmisión/recepción de una onda ultrasónica U por el elemento transceptor ultrasónico 1, una unidad de control de cálculo 3 para controlar el accionamiento de la unidad de control de transmisión/recepción 2 y realizar el cálculo de una señal de salida desde la unidad de control de transmisión/recepción 2, y un monitor 4 para visualizar una forma de onda de señal y un resultado de cálculo. En la presente realización, una sección de cálculo incluida en la unidad de control de cálculo 3 logra la función como el dispositivo de cálculo descrito anteriormente.

El elemento transceptor ultrasónico 1 en relación con la presente realización está dispuesto en la superficie superior de la placa de cobre de molde C, y puede someterse a una fuerte radiación de calor desde una artesa distribuidora

de colada dispuesta por encima del molde. Por lo tanto, si el elemento transceptor ultrasónico 1 está dispuesto en la superficie superior de la placa de cobre de molde C tal como está, se verá expuesto a altas temperaturas, lo que provocará el riesgo de aparición de fallos y errores de medición de temperatura. Debido a esto, el aparato de medición de temperatura 100 en relación con la presente realización incluye, como configuración preferible, una cubierta protectora 5 para enfriar el elemento transceptor ultrasónico 1. La cubierta protectora 5 está provista de un agujero de perno 51, y la cubierta protectora 5 se fija a la superficie superior de la placa de cobre de molde C mediante un perno (no mostrado) insertado a través del agujero de perno 51. Como resultado, el elemento transceptor ultrasónico 1 unido a la cubierta protectora 5 está dispuesto en la superficie superior de la placa de cobre de molde C en un estado estable. Un tubo de enfriamiento 52 y un material aislante de calor 53 están alojados en la cubierta protectora 5, y el elemento transceptor ultrasónico 1 y su cable de señal 11 se colocan adyacentes al tubo de enfriamiento 52 y quedan encerrados por el material aislante de calor 53. Como resultado, incluso si el elemento transceptor ultrasónico 1 está dispuesto en la superficie superior de la placa de cobre de molde C, el elemento transceptor ultrasónico 1 no estará expuesto a altas temperaturas, y será posible reducir el riesgo de aparición de fallos y errores de medición de temperatura. Por supuesto, hay un caso donde tal enfriamiento es innecesario.

Como elemento transceptor ultrasónico 1, se usa adecuadamente una denominada sonda ultrasónica. En la presente invención, es especialmente preferible usar una sonda vertical entre sondas ultrasónicas. Se observa que, como elemento transceptor ultrasónico 1, es posible usar una sonda ultrasónica de tipo onda ultrasónica electromagnética sin limitarse a una sonda ultrasónica de tipo contacto en la que un medio de contacto necesita interponerse entre la sonda y la placa de cobre de molde C. Además, como elemento transceptor ultrasónico 1, sin limitarse a una sonda ultrasónica de un tipo que realiza la transmisión y la recepción de ondas ultrasónicas con el mismo transductor, es posible usar una sonda ultrasónica de un tipo en el que la transmisión y la recepción de ondas ultrasónicas se realizan por un transductor diferente.

A medida que aumenta la frecuencia de oscilación de la onda ultrasónica U por el elemento transceptor ultrasónico 1 (sonda ultrasónica), mejora la resolución de tiempo para la detección de eco ultrasónico y también mejora la resolución de la medición de temperatura. Sin embargo, cuando la frecuencia de oscilación es excesivamente alta, aumenta la atenuación de la onda ultrasónica U en la propagación y, por lo tanto, el intervalo de medición será limitado. Por un lado, cuando la frecuencia de oscilación es excesivamente baja, se deteriora la resolución de tiempo para la detección de eco y también se deteriora la resolución de la medición de temperatura. Por esta razón, como elemento transceptor ultrasónico 1, es preferible usar una sonda ultrasónica que tenga una frecuencia de oscilación (frecuencia central) de onda ultrasónica de aproximadamente 1 MHz a 20 MHz. Si va a medirse toda el área (aproximadamente 900 mm) en la dirección de la altura de la placa de cobre de molde C, es deseable usar una sonda ultrasónica que tenga una frecuencia de oscilación de aproximadamente 5 MHz.

Si el tamaño de la superficie de contacto del elemento transceptor ultrasónico (sonda ultrasónica) 1 es demasiado pequeño, se verá afectada la directividad de la onda ultrasónica U a transmitir y se dispersará la energía de la onda ultrasónica U en propagación. Por esta razón, la intensidad del eco ultrasónico a detectar disminuye y se vuelve incapaz de detectar un eco ultrasónico que se refleja en una fuente de reflexión remota R. Además, es probable que se produzca la reflexión en la ranura, como la trayectoria del agua de enfriamiento de molde, que habitualmente se proporciona en la placa de cobre de molde C, y aumentarán los ecos de ruido.

Por un lado, puesto que el espesor de la placa de cobre de molde C habitualmente es de aproximadamente 35 mm a 45 mm, no tiene sentido que la superficie de contacto del elemento transceptor ultrasónico 1 tenga un tamaño mayor que el del espesor. Seleccionar una sonda ultrasónica que tenga un tamaño de superficie de contacto excesivamente grande solo provocará un aumento de coste. Además, no tiene sentido realizar una medición de temperatura en el intervalo a partir de la superficie C2 para enfriar con agua hasta al menos aproximadamente 20 mm desde allí, lo que corresponde a la profundidad de la ranura, ya que se ve afectada por la temperatura del agua de enfriamiento que fluye en la ranura. Una parte importante de la energía de la onda ultrasónica U debe propagarse al intervalo restante desde la superficie adyacente C1 con el acero fundido M hasta aproximadamente 25 mm de la misma.

A partir de los puntos descritos anteriormente, es preferible usar una sonda ultrasónica cuya superficie de contacto tenga una dimensión (un diámetro cuando la superficie de contacto es circular, y un lado cuando la superficie de contacto es rectangular) de 5 a 25 mm como el elemento transceptor ultrasónico 1.

Como se muestra en la figura 2, los elementos transceptores ultrasónicos 1 en relación con la presente realización están dispuestos de tal manera que de 5 a 100 de los mismos (un ejemplo de 5 se muestra en la figura 2) se colocan uno al lado de otro en la dirección de la placa de cobre de molde C en la superficie superior de la placa de cobre de molde C. Se observa que aunque preferentemente se coloca un número plural de elementos transceptores ultrasónicos 1, ya que el área de medición de temperatura se expande en la dirección de anchura de la placa de cobre de molde C, puede colocarse solo uno sin limitarse necesariamente a un número plural. Además, el punto de colocación del elemento transceptor ultrasónico 1 no estará limitado a la superficie superior de la placa de cobre de molde C, y, como se muestra por una línea de puntos en la figura 2A, puede colocarse en la superficie inferior o en una superficie lateral de la placa de cobre de molde C. Es decir, siempre que la onda ultrasónica U pueda propagarse en la dirección sustancialmente en paralelo con la superficie adyacente C con el metal fundido de la

placa de cobre de molde C, es posible seleccionar cualquier punto de colocación.

La unidad de control de transmisión/recepción 2 en relación con la presente realización incluye una sección de escaneo, una sección de generador de pulsos/receptor, una sección de amplificador, y una sección de conversión A/D y se compone de, por ejemplo, un circuito eléctrico adecuado.

La sección de escaneo opera para conmutar sucesivamente el elemento transceptor ultrasónico 1 que transmite/recibe la onda ultrasónica U entre la pluralidad de elementos transceptores ultrasónicos 1 (por ejemplo, conmuta sucesivamente el elemento transceptor ultrasónico 1 que suministra una señal de pulso desde la sección de generador de pulsos/receptor, desde el elemento transceptor ultrasónico 1 dispuesto en un lado de extremo en la dirección de anchura de la placa de cobre de molde C hasta el elemento transceptor ultrasónico 1 dispuesto en el otro lado de extremo).

La sección de generador de pulsos/receptor suministra una señal de pulso para hacer que el elemento transceptor ultrasónico 1 transmita una onda ultrasónica U. La disminución del período de suministro de esta señal de pulso hace posible aumentar la respuesta al cambio de temperatura.

Además, la sección de generador de pulsos/receptor amplifica el eco ultrasónico (en lo sucesivo en el presente documento, denominado adecuadamente "señal de eco") que se detecta por el elemento transceptor ultrasónico 1 y se convierte en una señal eléctrica.

La sección de amplificador tiene una función de amplificar aún más la señal de eco emitida desde la sección de generador de pulsos/receptor. Se supone que este factor de amplificación (ganancia) es variable.

La sección de conversión A/D realiza la conversión A/D de la señal de eco amplificada en la sección de amplificador.

El elemento transceptor ultrasónico 1 transmite una onda ultrasónica U dentro de la placa de cobre de molde C por la señal de pulso suministrada desde la sección de generador de pulsos/receptor de la unidad de control de transmisión/recepción 2 que tiene una configuración como la descrita anteriormente. Además, el elemento transceptor ultrasónico 1 detecta un eco ultrasónico que se refleja en la fuente de reflexión R proporcionada dentro de la placa de cobre de molde C y la superficie inferior de la placa de cobre de molde C, y lo convierte en una señal eléctrica (una señal de eco). La señal de eco se amplifica en la sección de generador de pulsos/receptor y la sección de amplificador de la unidad de control de transmisión/recepción 2, realizándose posteriormente una conversión A/D en la sección de conversión A/D y emitiéndose a la unidad de control de cálculo 3.

La unidad de control de cálculo 3 en relación con la presente realización incluye una sección de cálculo, una sección de control, y una sección de interfaz y se compone de, por ejemplo, un ordenador personal que se instala con software para lograr las funciones de cada una de estas secciones.

La sección de cálculo calcula un tiempo de propagación del eco ultrasónico que se refleja en la fuente de reflexión R y la superficie inferior de la placa de cobre de molde C y se detecta por el elemento transceptor ultrasónico 1 basándose en la señal de eco emitida desde la unidad de control de transmisión/recepción 2. La sección de cálculo calcula la temperatura de la placa de cobre de molde C basándose en el tiempo de propagación calculado del eco ultrasónico y la dependencia térmica de la velocidad de propagación de la onda ultrasónica.

La sección de control logra la función de controlar el accionamiento de la sección de generador de pulsos/receptor, etc., incluida en la unidad de control de transmisión/recepción 2.

La sección de interfaz logra la función de transmitir datos (temperatura, etc., calculados en la sección de cálculo) a un sistema de nivel más alto (un ordenador de procesos, así como un aparato de cálculo de alto nivel, etc., que evalúa un derrame y calcula un indicador de calidad a presentar al operador).

En lo sucesivo en el presente documento, se describirán ejemplos más específicos en el contenido de cálculo en la sección de cálculo de la unidad de control de cálculo 3.

La sección de cálculo de la unidad de control de cálculo 3 prealmacena la distancia (por ejemplo, la distancia L1 a la fuente de reflexión R1 mostrada en la figura 1 descrita anteriormente) desde el punto incidente de la onda ultrasónica (la superficie superior de la placa de cobre de molde C en la presente realización) a la fuente de reflexión R (incluyendo la superficie inferior de la placa de cobre de molde C) y una dependencia térmica predeterminada (una correspondencia entre la velocidad de propagación y la temperatura) de la velocidad de propagación de la onda ultrasónica en la placa de cobre de molde C.

La unidad de control de cálculo 3 calcula un tiempo de propagación T1 de un eco ultrasónico U1 reflejado en la fuente de reflexión R1 y detectado por el elemento transceptor ultrasónico 1, por ejemplo, como se muestra en la figura 1 basándose en la señal de eco emitida desde la unidad de control de transmisión/recepción 2.

A continuación, la sección de cálculo determina la velocidad de propagación de la onda ultrasónica mediante la siguiente ecuación (1), basándose en el tiempo de propagación T1 calculado y la distancia L1 desde el punto incidente de la onda ultrasónica a la fuente de reflexión R1.

$$\text{Velocidad de propagación de onda ultrasónica} = (\text{distancia L1 a la fuente de reflexión R1}) \times 2 / \text{tiempo de propagación T1} \quad (1)$$

Por último, la sección de cálculo calcula una temperatura de la placa de cobre de molde C basándose en la velocidad de propagación y la dependencia térmica de la velocidad de propagación de la onda ultrasónica. La temperatura calculada corresponde a una temperatura promedio de una sección desde el punto incidente de la onda ultrasónica (la superficie superior de la placa de cobre de molde C) hasta la fuente de reflexión R1.

Además, como se muestra en la figura 1, cuando una pluralidad de fuentes de reflexión R se proporcionan en la trayectoria de propagación de la onda ultrasónica U transmitida desde un elemento transceptor ultrasónico 1, la sección de cálculo de la unidad de control de cálculo 3 puede realizar el siguiente cálculo. Es decir, la sección de cálculo puede seleccionar, por ejemplo, un par de fuentes de reflexión R1 y R2 basándose en la señal de eco emitida por la unidad de control de transmisión/recepción 2, y calcular la diferencia ΔT_{12} ($= T_2 - T_1$) entre el tiempo de propagación T2 del eco ultrasónico U2 reflejado en la fuente de reflexión R2 y el tiempo de propagación T1 del eco ultrasónico U1 reflejado en la fuente de reflexión R1.

A continuación, la sección de cálculo determina la velocidad de propagación de la onda ultrasónica mediante la siguiente ecuación (2) basándose en la diferencia de tiempo de propagación calculada ΔT_{12} y la distancia L12 entre las fuentes de reflexión R1 y R2.

$$\text{Velocidad de propagación de onda ultrasónica} = (\text{distancia L12 entre fuentes de reflexión R1 y R2}) \times 2 / \text{diferencia de tiempo de propagación } \Delta T_{12} \quad (2)$$

Por último, la sección de cálculo calcula una temperatura de la placa de cobre de molde C basándose en la velocidad de propagación y la dependencia térmica de la velocidad de propagación de la onda ultrasónica. La temperatura calculada corresponde a una temperatura promedio de una sección entre las fuentes de reflexión R1 y R2. A continuación, al cambiar un par de fuentes de reflexión (incluyendo la superficie inferior de la placa de cobre de molde C) a seleccionar, es posible calcular una temperatura promedio de una sección entre cualquiera de las fuentes de reflexión R (incluyendo la superficie inferior de la placa de cobre de molde C).

Como se ha descrito hasta ahora, la sección de cálculo de la unidad de control de cálculo 3 calcula el tiempo de propagación del eco ultrasónico basándose en la señal de eco emitida desde la unidad de control de transmisión/recepción 2. El tiempo de propagación de este eco ultrasónico corresponde al tiempo transcurrido desde el momento en que la onda ultrasónica incide en la placa de cobre de molde C hasta el momento en que se detecta el eco ultrasónico. Debido a esto, cuando se calcula un tiempo de propagación, es necesario determinar el momento en que se detecta un eco ultrasónico y el momento en que la onda ultrasónica incide en la placa de cobre de molde C.

El método para determinar el tiempo de detección de un eco ultrasónico se ejemplifica mediante un método de cruce por cero como se describe a continuación. Por ejemplo, si se usa una sonda vertical que tiene una frecuencia de oscilación de 5 MHz como elemento transceptor ultrasónico 1, se transmite una onda ultrasónica U compuesta de varias ondas que tienen una frecuencia central de 5 MHz en una señal de pulso suministrada desde la sección de generador de pulsos/receptor de la unidad de control de transmisión/recepción 2. El eco ultrasónico detectado en el elemento transceptor ultrasónico 1 tiene una forma de onda aproximadamente cercana a la forma de onda de la onda ultrasónica U en el momento de la transmisión, aunque hay algunos cambios, tales como que la frecuencia central y el número de ondas disminuye ligeramente cuando aumenta la distancia de propagación. Un tiempo de detección aproximado (en lo sucesivo en el presente documento, denominado tiempo de detección esperado) del eco ultrasónico que se refleja en una fuente de reflexión específica R entre las señales de eco que se convierten de A/D por la sección de conversión A/D de la unidad de control de transmisión/recepción 2 se determina dependiendo de la distancia a la fuente de reflexión R y el intervalo de temperatura de la placa de cobre de molde C. Con este fin, se busca un pico de amplitud del eco ultrasónico cerca del tiempo de detección esperado. El pico de amplitud del eco ultrasónico puede determinarse como uno cuya amplitud supera un valor umbral específico entre las señales de eco cerca del tiempo de detección esperado. A continuación, inmediatamente antes o después del pico de amplitud que ha superado el valor umbral, se determina el momento en que la amplitud de la señal de eco se convierte en cero (punto de cruce por cero). Este punto de cruce por cero puede considerarse como el tiempo de detección del eco ultrasónico.

Se observa que cuando un punto de cruce por cero está presente entre los puntos de muestreo de la conversión A/D, el punto de cruce por cero puede determinarse como un punto interpolado de los valores de conversión A/D en ambos lados del punto de cruce por cero. Además, cuando los picos que superan el valor umbral están presentes en una pluralidad de sitios de acuerdo con el número de ondas, puede decidirse por adelantado para qué pico de la pluralidad de picos se determina el punto de cruce por cero.

El momento en que una onda ultrasónica U incide en la placa de cobre de molde C puede determinarse, por ejemplo, como el tiempo que se obtiene añadiendo un retardo de tiempo a partir de un disparador a la transmisión ultrasónica, o un retardo de tiempo tal como un tiempo de propagación de la onda ultrasónica dentro del elemento transceptor ultrasónico 1, como un tiempo de compensación al momento en que se emite un disparador de transmisión ultrasónica (una señal de pulso suministrada desde la sección de generador de pulsos/receptor de la unidad de control de transmisión/recepción 2). Además, como se muestra en la figura 1, también es posible usar un punto de cruce por cero de un eco ultrasónico (un eco de superficie superior) S que se refleja en la superficie superior (superficie superior) de la placa de cobre de molde C, y que se produce cuando la onda ultrasónica U incide en la placa de cobre de molde C, como el momento en que la onda ultrasónica U incide en la placa de cobre de molde C.

Se observa que cuando se determina una temperatura de una sección entre un par de fuentes de reflexión R en la trayectoria de propagación de la onda ultrasónica U a transmitir desde un elemento transceptor ultrasónico 1, no hay necesidad de determinar con precisión el momento en que la onda ultrasónica U incide en la placa de cobre de molde C. Esto se debe a que, como se ha descrito anteriormente, al usarse la diferencia de tiempo de propagación entre los ecos ultrasónicos reflejados en cada fuente de reflexión R, se anula el momento en que la onda ultrasónica U incide en la placa de cobre de molde C y, por lo tanto, solo es necesario que se determine con precisión el tiempo de detección del eco ultrasónico.

Se observa que, como método para determinar el tiempo de detección del eco ultrasónico, por ejemplo, puede adoptarse un método de correlación cruzada sin limitarse al método de cruce por cero descrito anteriormente.

Para ser específicos, por ejemplo, se recogen por adelantado señales de eco para la placa de cobre de molde C a una temperatura de referencia en un estado frío (cuando el acero fundido M no se está colando de manera continua), y basándose en las señales de eco en estado frío, se determina un tiempo de detección del eco ultrasónico en estado frío (el tiempo de detección del eco ultrasónico en estado frío se determina mediante el método de cruce por cero). A continuación, se determina una correlación cruzada entre la señal de eco en estado frío y una señal de eco tomada para la placa de cobre de molde C, mientras que el acero fundido M se está realmente colando de manera continua. A continuación, una diferencia de tiempo en la que la correlación cruzada determinada llega al máximo se añade al tiempo de detección del eco ultrasónico en estado frío para obtener el tiempo de detección del eco ultrasónico para la placa de cobre de molde C mientras el acero fundido M se está realmente colando.

Puesto que este método de correlación cruzada puede evitar el efecto de los ruidos aleatorios incluidos en una señal de eco en comparación con el método de cruce por cero, se espera que mejoren la precisión de medición del tiempo de detección del eco ultrasónico, y, por lo tanto, la precisión de la medición de temperatura de la placa de cobre de molde C.

Se observa que el significado de la temperatura de referencia descrita anteriormente es el mismo que el descrito antes.

Como se ha descrito hasta ahora, de acuerdo con el método y aparato 100 para medir la temperatura de una placa de cobre de molde C para colada continua en relación con la presente invención, puesto que la temperatura de la placa de cobre de molde C se calcula basándose en el tiempo de propagación del eco ultrasónico que se refleja en una fuente de reflexión R proporcionada dentro de la placa de cobre de molde C, y la dependencia térmica (correspondencia entre la velocidad de propagación y la temperatura) de la velocidad de propagación de la onda ultrasónica, es posible medir a la vez las temperaturas (temperatura promedio) de la placa de cobre de molde C en todos los puntos de una trayectoria de propagación de la onda ultrasónica. En otras palabras, es posible medir las temperaturas de la placa de cobre de molde C en un amplio intervalo del área de medición de temperatura mediante un elemento transceptor ultrasónico 1.

Además, puesto que se hace que la onda ultrasónica se propague en la dirección sustancialmente paralela con la superficie adyacente C1 con el metal fundido M de la placa de cobre de molde C, no hay necesidad de unir el elemento transceptor ultrasónico 1 en una superficie opuesta a la superficie adyacente C1. Es decir, el elemento transceptor ultrasónico 1 puede unirse a cualquiera de la superficie superior, la superficie inferior y la superficie lateral de la placa de cobre de molde C, excepto la superficie adyacente C1 y una superficie C2 opuesta a la superficie adyacente. Por lo tanto, el elemento transceptor ultrasónico 1 puede disponerse separado de la trayectoria del agua de enfriamiento de molde, y es posible reducir los fallos del elemento transceptor ultrasónico 1 y la aparición de errores de medición debidos a fugas de agua. Además, es menos probable que el elemento transceptor ultrasónico 1 interfiera físicamente con equipos tales como un aparato de agitación electromagnética y un aparato de freno electromagnético, y cuando el elemento transceptor ultrasónico 1 falla puede sustituirse con relativa facilidad, sin perjudicar la productividad de la colada continua.

Como se ha descrito hasta ahora, de acuerdo con el método y aparato 100 para medir la temperatura de una placa de cobre de molde C para colada continua en relación con la presente invención, es posible medir la temperatura de

la placa de cobre de molde C en un amplio intervalo del área de medición de temperatura con precisión y sin perjudicar la productividad de la colada continua.

En lo sucesivo en el presente documento, se describirán los contenidos y los resultados del ensayo que los presentes inventores han realizado en relación con la presente invención.

(1) En general, una placa de cobre de molde para colada continua está compuesta principalmente por Cu (no menos del 96 % en peso) que incluye pequeñas cantidades de Co, Ni o Cr y Zr, y además Ag y P. Los presentes inventores han descubierto que es posible hacer que una onda ultrasónica incida desde la superficie superior de la placa de cobre de molde hacia el interior de la misma, y hacer que la onda ultrasónica se propague a la superficie inferior de la placa de cobre de molde que está 900 mm más adelante, y detectar un eco ultrasónico reflejado en la superficie inferior. Puesto que la atenuación de la onda ultrasónica es grande en una aleación de cobre, tal como el latón, no se esperaba necesariamente que la onda ultrasónica se propagara a lo largo de tal longitud.

La figura 3 muestra un ejemplo de un eco ultrasónico cuando una onda ultrasónica incide desde la superficie superior de la placa de cobre de molde para colada continua que se usó en la operación real. La abscisa de la figura 3 muestra los valores de la distancia de propagación que se obtiene mediante una conversión del tiempo de propagación del eco ultrasónico basándose en la velocidad del sonido a la temperatura normal, y la ordenada de la figura 3 muestra la intensidad del eco ultrasónico. Como se muestra en la figura 3, se observa claramente un eco de superficie inferior (un eco ultrasónico que se refleja en la superficie inferior de la placa de cobre de molde) que está 900 mm más adelante.

A partir de los hechos descritos anteriormente, se observa que es posible colocar un elemento transceptor ultrasónico (una sonda ultrasónica) en la superficie superior de la placa de cobre de molde y observar (medir la temperatura de) toda el área de la placa de cobre de molde desde la superficie superior a la superficie inferior localizada 900 mm más adelante con un solo elemento transceptor ultrasónico.

(2) Se proporciona un agujero de taladro con un diámetro de 5 mm en una posición a 100 mm de la superficie de extremo de la placa de cobre de molde para colada continua para unir un termopar en el agujero de taladro, y se calienta mediante un calentador al menos una sección desde la superficie de extremo hasta un punto a 100 mm de la placa de cobre de molde. A continuación, se hizo incidir una onda ultrasónica desde un elemento transceptor ultrasónico colocado en la superficie de extremo descrita anteriormente, se midió el tiempo transcurrido desde el momento en que se detectó un eco de superficie superior reflejado en la superficie de extremo descrita anteriormente hasta el momento en que se detectó el eco ultrasónico reflejado en el agujero de taladro descrito anteriormente y se supuso que el tiempo transcurrido era el tiempo de propagación del eco ultrasónico reflejado en el agujero de taladro. A continuación, se calculó la velocidad de propagación de la onda ultrasónica basándose en el tiempo de propagación medido y la distancia de propagación (aproximadamente 200 mm) de la onda ultrasónica, y basándose en esta velocidad de propagación y un valor de temperatura medido por el termopar, se calculó la dependencia térmica (correspondencia entre la velocidad de propagación y la temperatura) de la velocidad de propagación de la onda ultrasónica. Se observa que, como elemento transceptor ultrasónico, se usó una sonda vertical para onda longitudinal que tenía una frecuencia de oscilación de 5 MHz. Además, los tiempos de detección del eco de superficie superior y el eco ultrasónico reflejado en el agujero de taladro se determinaron mediante el método de cruce por cero.

Como resultado del ensayo descrito anteriormente, se ve que la velocidad de propagación de la onda ultrasónica (onda longitudinal) que se propaga dentro de la placa de cobre de molde cambia en aproximadamente -0,7 a -0,4 m/s para un aumento de temperatura de 1 °C de la placa de cobre de molde (un valor de temperatura medido por un termopar). Además, se ve que la relación entre la velocidad de propagación y la temperatura era una relación aproximadamente lineal desde la temperatura normal hasta aproximadamente 200 °C. Además, la velocidad de propagación de la onda ultrasónica (onda longitudinal) en la placa de cobre de molde era de aproximadamente 4400 m/s a 4900 m/s.

Como ejemplo, en un caso en el que se proporcionan dos fuentes de reflexión en un intervalo de 100 mm, cuando la temperatura promedio de una sección entre las dos fuentes de reflexión aumenta en 1 °C a una velocidad de propagación de 4650 m/s de la onda ultrasónica, el cambio en el tiempo durante el cual la onda ultrasónica se propaga entre las dos fuentes de reflexión es de aproximadamente 5 ns (5×10^{-9} s). Por lo tanto, suponiendo que la conversión A/D se realice a una frecuencia de muestreo de 100 MHz, ya que el intervalo de muestreo será de 10 ns, si puede interpolarse un punto de cruce por cero a una resolución de tiempo de aproximadamente 1/2 del intervalo de muestreo, entonces se obtendrá una resolución de medición de temperatura de aproximadamente 1 °C. Además, cuando la resolución de tiempo es de 1 ns, es posible detectar un cambio de temperatura de 1 °C entre dos fuentes de reflexión proporcionadas a un intervalo de aproximadamente 20 mm. Incluso en el método de cruce por cero, cuando la relación S/N del eco ultrasónico es alta, o se usa el método de correlación cruzada, etc., es posible obtener este nivel de resolución de tiempo.

(3) Como se muestra en la figura 4, se confirmó que podía detectarse claramente un eco ultrasónico que se reflejaba en un agujero ranurado que tenía un espacio T = 0,6 mm, una anchura W = 2 mm y una longitud L = 10 mm proporcionado en una posición dentro de la placa de cobre de molde y a 450 mm de distancia de la superficie superior de la placa de cobre de molde que tenía una altura de 900 mm.

A partir de este hecho, puede decirse que al proporcionar una pluralidad de estos pequeños agujeros en la trayectoria de propagación de la onda ultrasónica que se transmite desde un elemento transceptor ultrasónico, es posible dividir la placa de cobre de molde en una pluralidad de áreas en la dirección de propagación de la onda

ultrasónica y determinar la temperatura promedio de cada área. En otras palabras, se confirmó que podía realizarse la medición de temperatura simultánea de una pluralidad de áreas de medición de temperatura con un solo elemento transceptor ultrasónico.

(4) Como se muestra en la figura 5, el método y el aparato para medir la temperatura en relación con la presente invención se usaron para realizar un ensayo para medir la temperatura de la placa de cobre de molde C mientras que el acero fundido M se está colando realmente de manera continua (sin embargo, se usó una máquina de colada continua para el ensayo). Aunque la placa de cobre de molde C de la máquina de colada continua para el ensayo tenía una diferencia dimensional con respecto a la placa de cobre de molde que se usó para la producción real (la altura de la placa de cobre de molde C usada en el presente ensayo fue de 700 mm), su material y su forma fueron sustancialmente los mismos.

Como elemento transceptor ultrasónico 1, se usó una sonda vertical (el tamaño de la superficie de contacto: diámetro de 12 mm) para la onda longitudinal que tenía una frecuencia de oscilación de 5 MHz. La frecuencia de muestreo para la conversión A/D del eco ultrasónico fue de 50 MHz. Como fuente de reflexión, se usó un agujero de inserción de termopar H1 que tenía un diámetro de 4 mm proporcionado en una posición a aproximadamente 140 mm de distancia de la superficie superior de la placa de cobre de molde C. En la sección de cálculo incluida en la unidad de control de cálculo 3 (véase la figura 2), se calcularon la temperatura promedio del área desde la superficie superior hasta un punto a 140 mm de la placa de cobre de molde C, la temperatura promedio de un área desde la superficie superior hasta la superficie inferior, y la temperatura promedio del área desde el punto a 140 mm hasta la superficie inferior. En este momento, se determinaron los tiempos de detección de los ecos ultrasónicos reflejados respectivamente en la fuente de reflexión (el agujero de inserción de termopar H1) y la superficie inferior de la placa de cobre de molde C usando el método de cruce por cero. Se observa que simultáneamente con la medición de temperatura mediante el método en relación con la presente invención, se insertó un primer termopar en el agujero de inserción de termopar descrito anteriormente H1, y se insertó un segundo termopar en el agujero de inserción de termopar H2 que tenía un diámetro de 4 mm que se proporcionó en una posición a 250 mm de distancia de la superficie superior de la placa de cobre de molde C, de manera que estos termopares también midieran la temperatura de la placa de cobre de molde.

Las figuras 6 a 8 muestran los resultados del ensayo descrito anteriormente. La figura 6 muestra un ejemplo de un eco ultrasónico reflejado en un agujero de inserción de termopar H1 como fuente de reflexión, y la figura 7 muestra un ejemplo de un eco ultrasónico (eco de superficie inferior) reflejado en la superficie inferior de la placa de cobre de molde. Se observa que las figuras 6 y 7 muestran un eco ultrasónico durante la colada continua (en estado caliente), así como un eco ultrasónico antes de la colada continua (en estado frío). Además, la figura 8 es una gráfica para mostrar ejemplos de cada temperatura promedio calculada en la sección de cálculo incluida en la unidad de control de cálculo 3, así como las temperaturas medidas por los termopares primero y segundo.

Como se muestra en la figura 6, un eco ultrasónico reflejado en el agujero de inserción de termopar H1 era claramente observable incluso mientras se realizaba la colada continua. Como se muestra en la figura 7, lo mismo es cierto con un eco de superficie inferior.

Además, como se muestra en la figura 8, una temperatura promedio del área desde un punto a 140 mm desde la superficie superior a la superficie inferior de la placa de cobre de molde C (los datos representados por "Δ" en la figura 8), que se calcula en la sección de cálculo, y una temperatura promedio del área desde la superficie superior hasta la superficie inferior (los datos representados por "○" en la figura 8) indican valores cercanos a los valores de temperatura medidos de los termopares primero y segundo, y, por lo tanto, puede decirse que se obtuvieron resultados razonables.

Para ser más específicos, entre tres temperaturas promedio calculadas en la sección de cálculo descrita anteriormente, una temperatura promedio del área desde la superficie superior a un punto a 140 mm de la placa de cobre de molde C (los datos representados por "□" en la figura 8) se ve significativamente afectada por la temperatura de un área de baja temperatura que se localiza por encima de la superficie del acero fundido M (aproximadamente 100 mm desde la superficie superior de la placa de cobre de molde C, véase la figura 5), y, por lo tanto, es natural que la temperatura promedio sea menor que los valores de temperatura medidos de los termopares primero y segundo, como se muestra en la figura 8. Por lo tanto, siempre que las dos temperaturas promedio, excepto la temperatura promedio del área desde la superficie superior hasta un punto a 140 mm de la placa de cobre de molde C, indiquen valores cercanos a los valores de temperatura medidos de los termopares primero y segundo, puede decirse que el resultado es razonable.

REIVINDICACIONES

1. Un método para medir la temperatura de una placa de cobre de molde (C) que constituye un molde de colada continua para metal fundido (M), comprendiendo el método:

un primer procedimiento para proporcionar una fuente de reflexión (R) de onda ultrasónica dentro de la placa de cobre de molde (C);
 un segundo procedimiento para hacer que una onda ultrasónica (U) se propague en una dirección en paralelo con una superficie adyacente (C1) al metal fundido (M) de la placa de cobre de molde (C) desde un elemento transceptor ultrasónico (1) hacia la fuente de reflexión (R); y
 un tercer procedimiento para calcular la temperatura de la placa de cobre de molde (C) basándose en un eco ultrasónico (U1) que se refleja en la fuente de reflexión (R) y se detecta por el elemento transceptor ultrasónico (1).

2. El método para medir la temperatura de una placa de cobre de molde (C) para colada continua de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la fuente de reflexión (R) proporcionada en el primer procedimiento es un agujero que se abre en una superficie (C2) opuesta a una superficie adyacente (C1) al metal fundido (M) de la placa de cobre de molde (C) y se extiende en la placa de cobre de molde (C).

3. El método para medir la temperatura de una placa de cobre de molde (C) para colada continua de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que en el primer procedimiento, se proporcionan una pluralidad de fuentes de reflexión (R1, R2, R3) en la trayectoria de propagación de una onda ultrasónica (U) que se transmite desde uno o un par de elementos transceptores ultrasónicos (1); y en el tercer procedimiento, la temperatura de una sección de la placa de cobre de molde (C) entre un par arbitrariamente seleccionado de fuentes de reflexión (R1, R2) entre la pluralidad de fuentes de reflexión (R1, R2, R3) se calcula basándose en la diferencia de tiempo de propagación (ΔT_{12}) entre los ecos ultrasónicos (U1, U2) que se reflejan respectivamente en el par seleccionado de fuentes de reflexión (R1, R2) y en la dependencia térmica de la velocidad de propagación de la onda ultrasónica.

4. El método para medir la temperatura de una placa de cobre de molde (C) para colada continua de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que en el segundo procedimiento, un elemento transceptor ultrasónico (1) está dispuesto en una superficie superior de la placa de cobre de molde (C).

5. Un aparato para medir la temperatura de una placa de cobre de molde (C) que constituye un molde de colada continua para metal fundido (M), estando la placa de cobre de molde (C) provista de una fuente de reflexión ultrasónica (R) en la misma, comprendiendo el aparato:

un elemento transceptor ultrasónico (1) que hace que una onda ultrasónica (U) se propague en una dirección en paralelo con una superficie adyacente (C1) al metal fundido (M) de la placa de cobre de molde (C) hacia la fuente de reflexión (R); y
 un dispositivo de cálculo para calcular la temperatura de la placa de cobre de molde (C) basándose en el tiempo de propagación de un eco ultrasónico (U1) que se refleja en la fuente de reflexión (R) y se detecta por el elemento transceptor ultrasónico (1) y en la dependencia térmica de la velocidad de propagación de la onda ultrasónica.

Figura 1

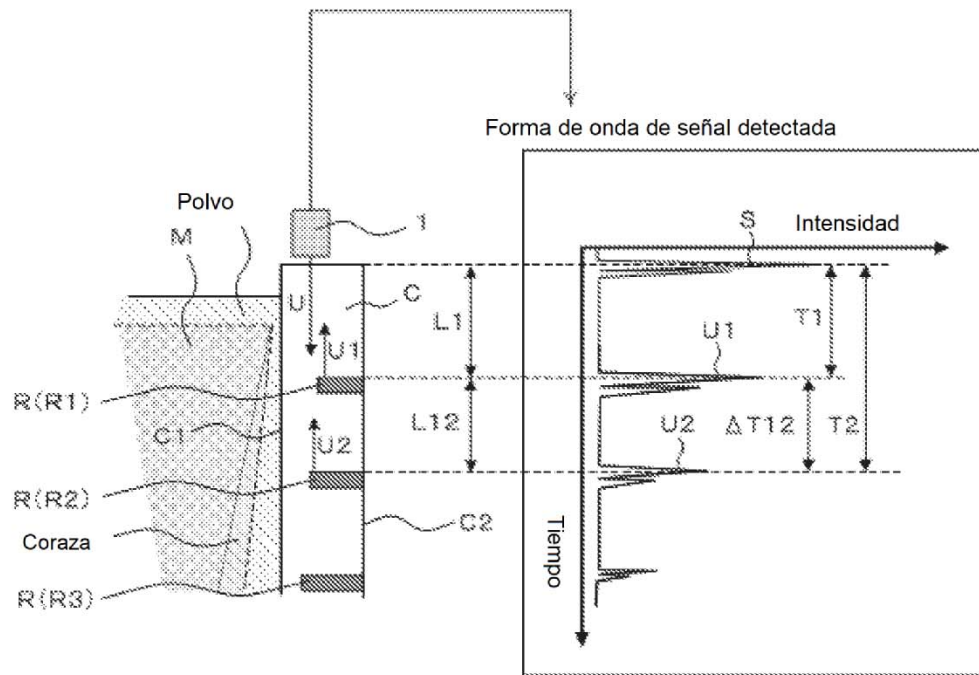


Figura 2A

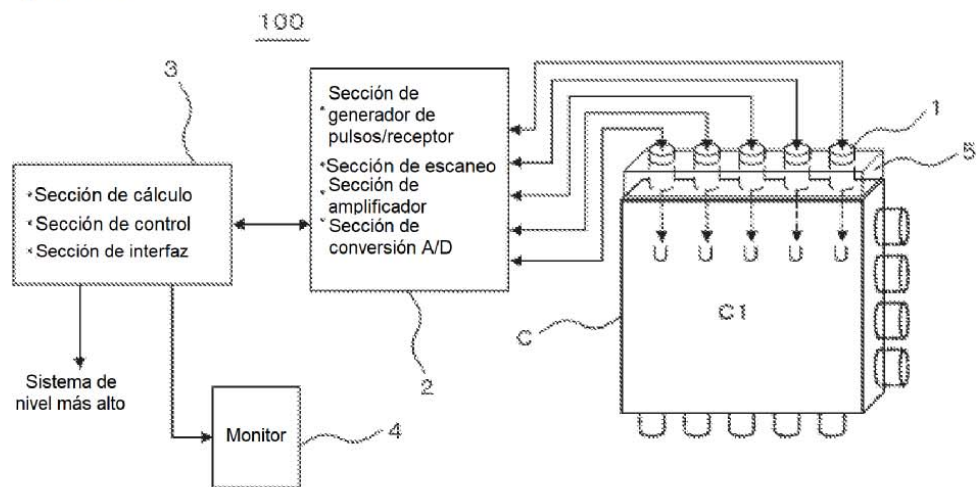


Figura 2B

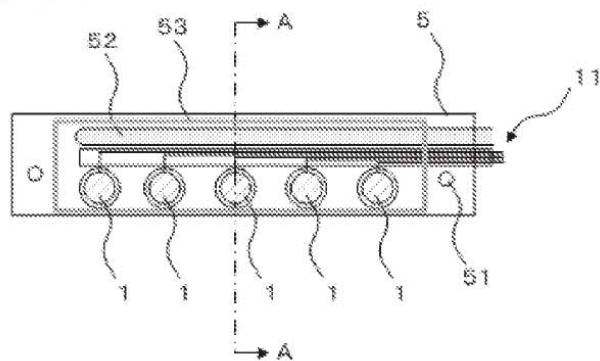


Figura 2C

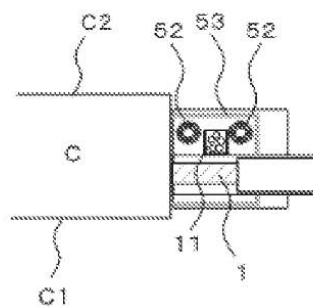


Figura 3

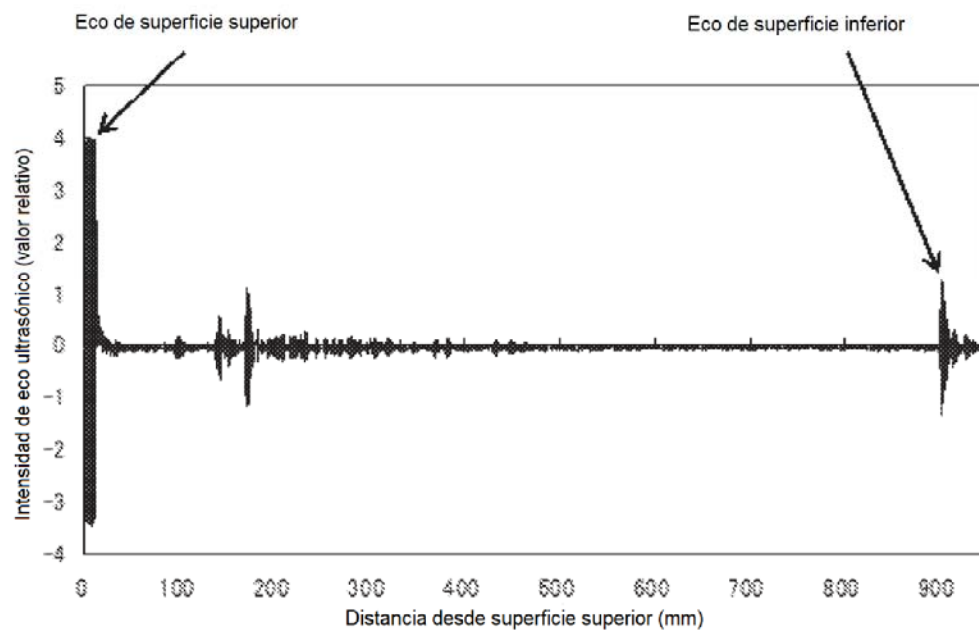


Figura 4

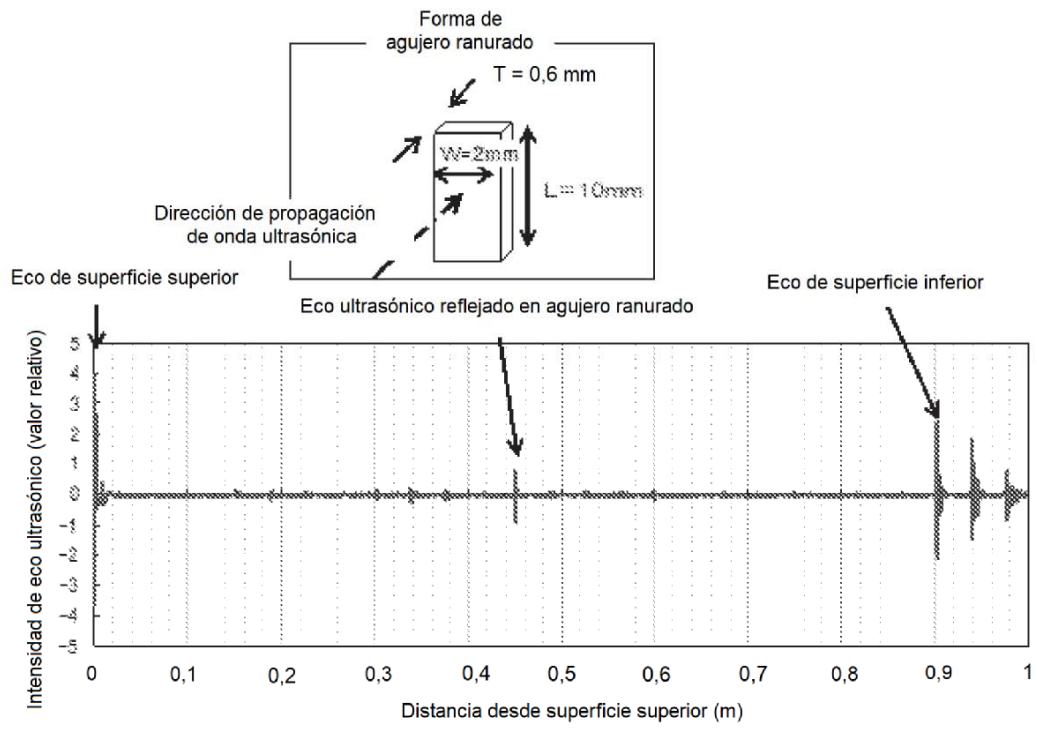


Figura 5

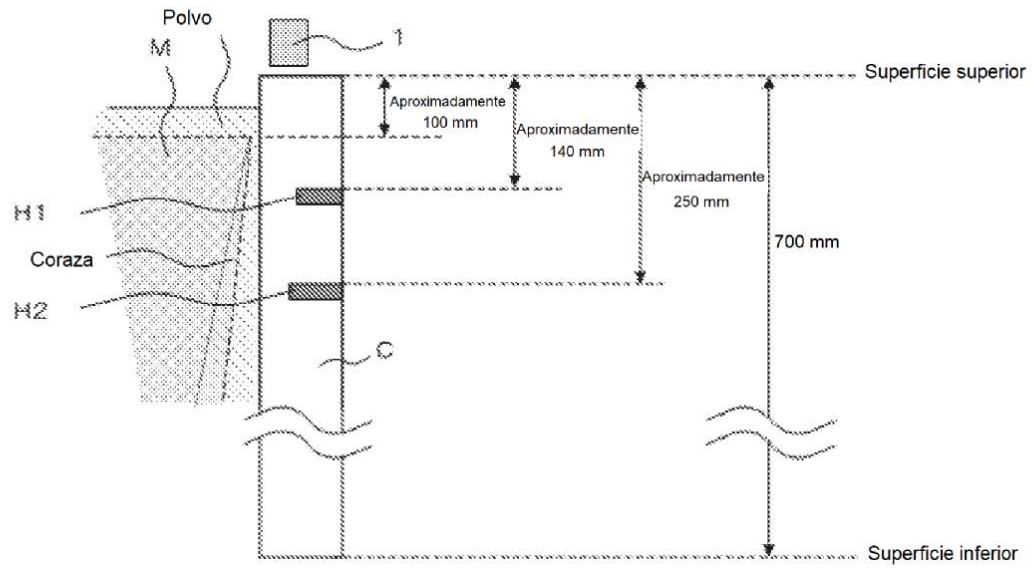


Figura 6

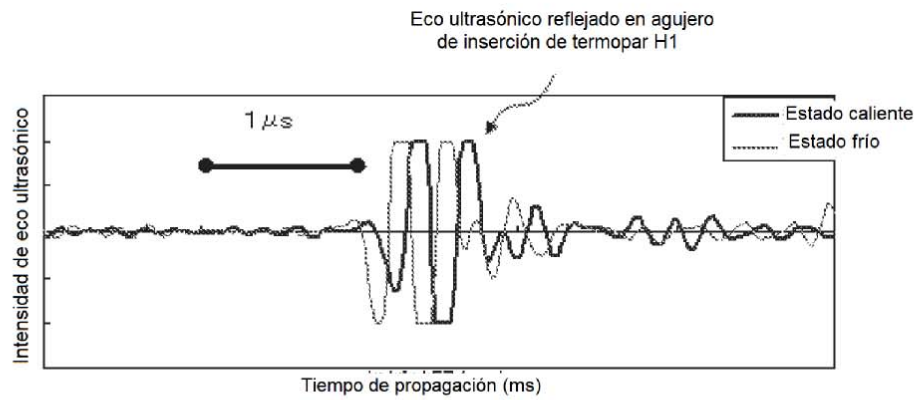


Figura 7

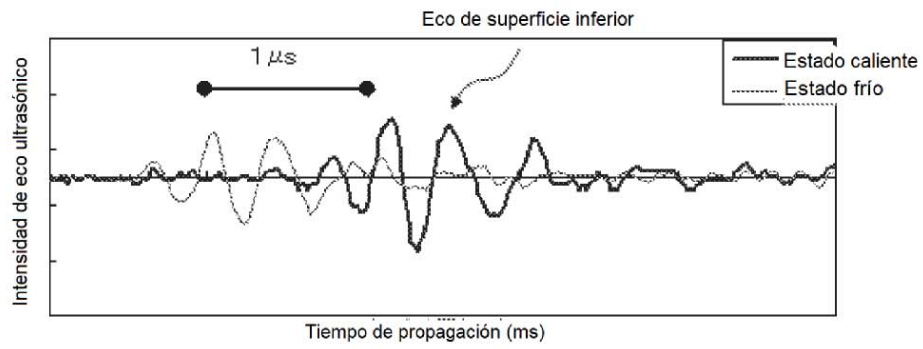


Figura 8

