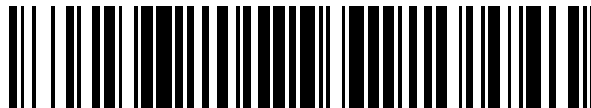


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 548 978**

51 Int. Cl.:

**B22D 11/22** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.04.2009** **E 09749695 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.08.2015** **EP 2279053**

54 Título: **Procedimiento para la colada continua de una barra metálica**

30 Prioridad:

**21.05.2008 AT 8152008**

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

**22.10.2015**

73 Titular/es:

**PRIMETALS TECHNOLOGIES AUSTRIA GMBH  
(100.0%)**

**Turmstrasse 44  
4031 Linz, AT**

72 Inventor/es:

**DITTENBERGER, KURT**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 548 978 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**

Procedimiento para la colada continua de una barra metálica

La presente invención hace referencia a un procedimiento para la colada continua de una barra metálica

5 La invención hace referencia en concreto a un procedimiento para la colada continua de una barra metálica, en especial de una barra de acero, en una instalación de colada continua, en donde una barra con un núcleo líquido confinado por una envoltura de barra se extrae de una coquilla de circulación refrigerada, se apoya en una instalación de apoyo de barra asociada a la coquilla de circulación y se refrigera con un refrigerante, en donde se calculan unas variaciones de estado termodinámicas de toda la barra en un modelo de simulación matemático, teniendo en cuenta los parámetros físicos del metal, el grosor de la barra y la velocidad de extracción medida  
10 continuamente.

Del documento DE 4417808 A1 se conoce un procedimiento para la colada continua de una barra metálica, en el que se extrae una barra con un núcleo líquido confinado por una envoltura de barra de una coquilla refrigerada, a continuación se apoya en una instalación de apoyo de barra y se refrigera con un refrigerante. Las variaciones de estado que suceden en el curso del proceso de colada continua se calculan mediante un modelo de simulación matemático, que contiene la ecuación de conducción térmica bidimensional, para toda la barra en tiempo real y se ajusta la refrigeración de la barra en función de las variaciones de estado termodinámicas calculadas.  
15

A causa de la bidimensionalidad de la ecuación de conducción térmica utilizada no era posible hasta ahora calcular la conducción térmica y las variaciones de estado ligadas a ello en todas las direcciones (en grosor de barra, en anchura de barra y en la dirección de extracción de barra) de la barra metálica y ajustar específicamente el desarrollo de temperatura en función de las variaciones de estado calculadas mediante la refrigeración de barra. Aparte de esto, a causa de efectos termodinámicos – no tenidos en cuenta en el modelo de simulación – puede llegarse a discrepancias entre el punto de solidificación profunda calculado y el real.  
20

Del documento EP 0 997 203 A1 se conoce un procedimiento para regular un tramo de refrigeración, en donde mediante un modelo de proceso matemático se calcula el desarrollo de temperatura a lo largo de la banda. A continuación de esto se regula el tramo de refrigeración teniendo en cuenta un desarrollo de temperatura de referencia y el desarrollo de temperatura calculado.  
25

La tarea de la invención consiste en crear un procedimiento de la clase citada al comienzo, con el que pueda aumentarse todavía más la precisión de la simulación de las variaciones de estado termodinámicas de toda la barra y mejorarse, en unión a la refrigeración, la calidad de producto de la barra metálica y el rendimiento productivo del proceso de colada continua.  
30

Esta tarea es resuelta mediante un procedimiento de la clase citada al comienzo, en el que en el modelo de simulación matemático se resuelve numéricamente una ecuación de conducción térmica tridimensional en tiempo real y la refrigeración de la barra se ajusta teniendo en cuenta las variaciones de estado calculadas.

Mediante el procedimiento del documento DE 4417808 A1 es posible calcular en tiempo real variaciones de estado termodinámicas en función de la conducción térmica bidimensional y, mediante la refrigeración de barra, influir en el desarrollo de temperatura de la barra. Según el procedimiento conforme a la invención posible calcular en tiempo real variaciones de estado termodinámicas mediante una ecuación de conducción térmica no estacionaria, no lineal, en función de la conducción térmica tridimensional, precisamente en la dirección en grosor de barra, en la dirección en anchura de barra y en la dirección en longitud de barra, es decir en la dirección de extracción de la barra, e influir en ellas específicamente mediante la refrigeración de barra. Por medio de esto pueden calcularse las variaciones de estado termodinámicas con una mayor precisión y puede influirse en ellas muy específicamente, mediante una refrigeración de barra adaptada a las mismas. En el modelo de simulación matemático se divide la barra en elementos volumétricos aislados, es decir, se realiza el llamado discrecionado, en donde cada elemento volumétrico discreto presenta una extensión en la dirección en longitud de barra, en la dirección en grosor de barra y en la dirección en anchura de barra. Mediante este discrecionado pueden asociarse toberas aisladas de la refrigeración de barra a uno o varios elementos volumétricos discretos de la barra y, de este modo, en primer lugar determinar con una alta precisión las variaciones de estado termodinámicas en estos elementos volumétricos, teniendo en cuenta la conducción térmica en todas las dimensiones espaciales y la cantidad de calor evacuada mediante la refrigeración de barra, y en segundo lugar, mediante estas toberas, influir de forma muy específica y con una elevada eficiencia en las características termodinámicas de la barra.  
35  
40  
45  
50

En una manifestación especialmente ventajosa se resuelve numéricamente en el modelo de simulación del procedimiento conforme a la invención la ecuación de conducción térmica tridimensional, teniendo en cuenta la variación de densidad en función de la temperatura de la barra metálica. Para el técnico es conocido que la variación de densidad del metal puede adoptar unas magnitudes significativas en función de la temperatura. De este modo,

por ejemplo, durante el proceso de colada aumenta la densidad del acero de unos 7.000 kg/m<sup>3</sup> a 1.550 °C (temperatura del caldo en el distribuidor de colada) hasta unos 7.800 kg/m<sup>3</sup> a 300 °C (barra solidificada profundamente). Las variaciones de densidad son relevantes durante el proceso de colada continua, en unión a la ecuación de conducción térmica, también a la hora de determinar el punto de solidificación profunda. Como punto de solidificación profunda se designa aquel punto en la dirección de extracción de barra, a partir del cual la barra metálica está por completo solidificada profundamente, es decir, la barra metálica ya no dispone de ningún núcleo líquido. En cualquier caso es extremadamente ventajoso un cálculo lo más exacto posible del punto de solidificación profunda. Si se subestima la posición del punto de solidificación profunda, es decir, en la dirección de extracción el punto calculado está menos alejado de la coquilla que el punto real, esto puede conducir a unas situaciones de colada muy peligrosas (por ejemplo también a una perforación de barra). Por otro lado se limita de forma innecesaria la velocidad de colada admisible en el caso de sobrevalorarse el punto de solidificación profunda, lo que a su vez empeoraría la productividad de la instalación.

Puede obtenerse otra manifestación especialmente ventajosa del procedimiento conforme a la invención si, para la solución numérica de la ecuación de conducción térmica teniendo en cuenta variaciones de densidad de la barra metálica en función de la temperatura, se utilizan unas ecuaciones aproximativas para la entalpía, que presenten para toda la barra la masa exacta y la entalpía exacta. En este punto quiere destacarse que la ecuación de conducción térmica exacta tridimensional, no lineal y no estacionaria, teniendo en cuenta la variación de densidad en función de la temperatura, no se ha resuelto todavía hoy en día. Las ecuación de conducción térmicas utilizadas hoy en día sin tener en cuenta la variación de densidad en función de la temperatura son solamente meras aproximaciones de la ecuación y sus soluciones pueden diferir claramente de la solución exacta. Mediante la utilización de ecuaciones aproximativas para la entalpía con el global – es decir cuando se contempla toda la barra – de la masa exacta y de la entalpía exacta, se garantiza sin embargo que estas magnitudes de estado termodinámicas fundamentales se correspondan con los valores exactos.

El procedimiento conforme a la invención puede realizarse de forma especialmente ventajosa si para solucionar la ecuación de conducción térmica en el modelo de simulación matemático se aplica o bien un método de volúmenes finitos o un método de elementos finitos. La ecuación de conducción térmica es una ecuación diferencial parcial parabólica que puede resolverse con métodos estándar de la matemática numérica, en especial el método de volúmenes finitos o el método de elementos finitos (véase el capítulo 19: matemática numérica de I.N. Bronstein, K. A. Semendjajew, G. Musiol, H. Mühlig: Taschenbuch der Mathematik, editorial Harri Deutsch, 6ª edición, 2005).

De un modo especialmente ventajoso el procedimiento conforme a la invención se realiza cuando las variaciones de estado termodinámicas, a causa de la simetría espacial, sólo se calculan para un cuarto de la sección transversal de barra. Esta simplificación puede hacerse a causa de la simetría espacial de la sección transversal de barra y de las condiciones marco variables en el tiempo, sin pérdida de precisión, y hace posible que la ecuación de conducción térmica tridimensional pueda resolverse con una gran precisión incluso con unos ordenadores de proceso con una potencia relativamente baja.

El procedimiento conforme a la invención puede utilizarse de forma ilimitada para la colada de barras metálicas con sección transversal de palanquilla, desbaste, llantón o desbaste fino con cualquier dimensión, para mejorar la calidad de las barras metálicas coladas.

Se deducen otras ventajas y características de la presente invención de la siguiente descripción de unos ejemplos de realización no limitativos, en donde se hace referencia a las siguientes figuras, que muestran lo siguiente:

la figura 1 una instalación de colada continua en un vista lateral esquemática,

la figura 2 una representación esquemática de la barra metálica discretizada,

la figura 3 una comparación de comparaciones con unas formulaciones diferentes de ecuación de conducción térmicas.

Una coquilla 1 refrigerada se alimenta con acero líquido 2, que se suministra desde un recipiente intermedio 3. La barra 6 que se forma en la coquilla 1, que presenta un núcleo líquido 4 y al principio sólo un envoltura de barra 5 estrecha, se desvía a la horizontal a través de una instalación de apoyo de barra 7 configurada en forma de arco, que está dotada de unos rodillos de apoyo 8 y apoya la barra por el lado superior y el inferior, en donde ésta, después de la solidificación profunda, o bien se trocea o se sigue transportando como barra continua. Para refrigerar la barra 6 están previstas a lo largo de la instalación de apoyo de barra 7 unas toberas 10 que suministran refrigerante, de las que en el dibujo sólo se han dibujado las situadas en el lado superior de barra al principio de la instalación de apoyo de barra 7. Con ello están conectadas una o varias toberas 10 en cada caso a un conducto de alimentación 11. La cantidad de refrigerante aplicada a la barra mediante las toberas puede variarse mediante una válvula 12 ajustable continuamente, a la que está asociada una instalación de medición de flujo 13. Cada válvula 12 puede graduarse a través de un elemento de ajuste 14, que puede accionarse a través de un elemento regulador 16

5 activado desde un ordenador de proceso central 15. Cada instalación de medición de flujo está acoplada a través de una unidad de introducción 17 al ordenador de proceso 15, que a su vez activa todos los elementos reguladores 16 a través de una unidad de entrega 18. En la unidad de introducción 17 del ordenador de proceso 15 pueden introducirse además los parámetros físicos del metal a colar, en el caso presente del acero 2, precisamente los valores en función de la temperatura de la densidad, de la capacidad calorífica específica y de la conductividad térmica, asimismo el esquema de pulverización en función del flujo de las toberas 10 dispuestas en función de la posición, la división de rodillos 9 en función de la posición, el grosor de barra dado el caso en función de la posición, la anchura de barra y la velocidad de colada medida continuamente de la instalación de colada continua.

10 Conforme a la invención se enfría de forma regulada la barra 6 en determinadas posiciones, ya sea fijas o variables, de la instalación de apoyo de barra 7. La regulación de la refrigeración de barra se realiza teniendo en cuenta las variaciones de estado termodinámicas de toda la barra 6 mediante la resolución en tiempo real de una ecuación de conducción térmica tridimensional, con ayuda del ordenador de proceso 15.

Una ecuación de conducción térmica tridimensional, no lineal y no estacionaria, en una formulación de entalpía puede expresarse por ejemplo de la manera siguiente

15 
$$\rho \left( \frac{\partial E_{mass}(\vec{x}, t)}{\partial t} + v_{cast}(t) \frac{\partial E_{mass}(\vec{x}, t)}{\partial z} \right) = \frac{\partial^2 u(\vec{x}, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u(\vec{x}, t)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u(\vec{x}, t)}{\partial z^2}$$

en donde

t tiempo en [s]

x la coordenada en la dirección en grosor de barra en m]

y la coordenada en la dirección en anchura de barra en [m]

20 z la coordenada en la dirección de extracción o del eje longitudinal de barra en [m]

$\frac{\partial}{\partial t}$  derivada parcial respecto al tiempo t

$\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z}$  derivadas parciales respecto a la posición x, y, z

$\vec{x}$  vector de posición en un sistema de coordenadas perpendicular en [m]

25  $\rho$  densidad en [kg/m<sup>3</sup>]

$E_{mass}(\vec{x}, t)$  entalpía referida a la masa en el punto x en el tiempo t en [J/kg]

$\xi$  variable de desplazamiento adimensional

$$u(\vec{x}, t) = \int_{T_{ref}}^{T(\vec{x}, t)} \lambda(\xi) \cdot d\xi$$

$v_{cast}(t)$  velocidad de extracción de la barra en el tiempo t en [m/s]

30 En esta ecuación de conducción térmica no se tienen en cuenta las variaciones de densidad de la barra 6 en función de la temperatura. Debido a que la densidad del acero aumenta de 7.000 kg/m<sup>3</sup> a 1.550 °C a 7.800 kg/m<sup>3</sup> a 300 °C, esta simplificación conduce a imprecisiones en el cálculo de las variaciones de estado termodinámicas. Ha quedado demostrado que en esta ecuación de conducción térmica se infravalora el punto de solidificación profunda, es decir

que el punto de solidificación profunda real está más alejado de la coquilla 1 que el punto de solidificación profunda calculado. Para evitar situaciones de colada desventajosas y dado el caso incluso peligrosas, es necesario utilizar un valor de densidad  $\rho$  en el margen de la densidad máxima del acero 2, lo que en consecuencia reduce notablemente la máx. velocidad de colada admisible.

- 5 Una segunda formulación de una ecuación de conducción térmica tridimensional, no lineal y no estacionaria, se expresa de la forma siguiente

$$\rho(T(\vec{x},t)) \left( \frac{\partial E_{mass}(\vec{x},t)}{\partial t} + v_{cast}(t) \frac{\partial E_{mass}(\vec{x},t)}{\partial z} \right) = \frac{\partial^2 u(\vec{x},t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u(\vec{x},t)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u(\vec{x},t)}{\partial z^2}$$

en donde

$T(\vec{x},t)$  temperatura en el punto  $x$  en el tiempo  $t$  en [°K]

10  $\rho(T(\vec{x},t))$  densidad de la barra metálica a la temperatura  $T$  en [kg/m<sup>3</sup>]

Esta formulación de la ecuación de conducción térmica es global, es decir correcta en cuanto a masa, si se contempla toda la barra, pero incorrecta en cuanto a la entalpía. Ha quedado demostrado que en esta ecuación de conducción térmica se sobrevalora el punto de solidificación profunda, es decir que el punto de solidificación profunda real está menos alejado de la coquilla que el punto de solidificación profunda calculado. De este modo la utilización de esta ecuación, aunque no es problemática con relación a posibles situaciones de colada desventajosas, se limita de forma innecesaria la máx. velocidad de colada admisible, lo que provoca una menor productividad de la instalación.

De forma ventajosa se utiliza la ecuación de conducción térmica

$$\left( \frac{\partial E_{trans}(\vec{x},t)}{\partial t} + v_{cast}(t) \frac{\partial E_{trans}(\vec{x},t)}{\partial z} \right) = \frac{\partial^2 u(\vec{x},t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u(\vec{x},t)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u(\vec{x},t)}{\partial z^2}$$

20 en donde

$E_{mass}(\vec{x},t)$  entalpía referida a la masa en el punto  $x$  en el tiempo  $t$

Con ello se utilizan dos planteamientos para entalpía  $E_{mass}(\vec{x},t)$  transformada, correcta globalmente en cuanto a la masa y a la entalpía. Las relaciones termodinámicas en la barra 6 varían notablemente en el punto de solidificación profunda 19, ya que la barra 6 – según se mira en la dirección de colada – presenta por encima del punto de solidificación profunda un núcleo líquido 4, el cual está unido al acero líquido 2 de la coquilla 1. La presión ferrostática en esta región presiona la envoltura de barra 5 ya solidificada contra los rodillos 8 de la instalación de apoyo de barra 7, con lo que en esta región se compensa la contracción de barra, causada por la variación de densidad del acero 2 en función de la temperatura, mediante un acero 2 líquido de circulación posterior. Por debajo del punto de solidificación profunda 19 ya no tiene lugar una compensación de este tipo.

30 Por encima del punto de solidificación profunda 19 el planteamiento es el siguiente

$$E_{trans}(\vec{x},t) = \int_{T_{ref}}^{T(\vec{x},t)} \left[ \rho(\xi) \cdot \dot{E}_{mass}(\xi) - \dot{\rho}(\xi) (E_{mass}(T_{fund}) - E_{mass}(\xi)) \right] d\xi .$$

Por el contrario, por debajo del punto de solidificación profunda 19 se utiliza el siguiente planteamiento

$$E_{trans}(\vec{x}, t) = \int_{T_{ref}}^{T(\vec{x}, t)} \rho(\xi) \cdot \dot{E}_{mass}(\xi) \cdot d\xi$$

en donde significan

$T_{ref}$  una temperatura de referencia a voluntad, pero constante (normalmente 25 °C)

$T_{tund}$  temperatura del metal en el nivel de colada en [°K]

5  $\dot{E}_{mass}(\vec{x}, t)$  derivada en el tiempo de la entalpía referida a la masa

La ecuación de conducción térmica se transforma en coordenadas de Lagrange, es decir, según la visión de un observador que se mueve con el movimiento de extracción de barra. La transformación se expresa de la forma siguiente

$$CastLg(t) = \int_{t_{start}}^t v_{cast}(\zeta) \cdot d\zeta$$

$$\vec{x}_{Lag}(t) = \begin{pmatrix} x \\ y \\ CastLg(t) - z \end{pmatrix}$$

10 en donde

$t_{start}$  momento de la aparición del elemento volumétrico discreto en la coquilla en [s]

La ecuación de conducción térmica en coordenadas de Lagrange se expresa entonces de la forma siguiente

$$\frac{\partial E_{trans}(\vec{x}_{Lag}(t))}{\partial t} = \frac{\partial^2 u(\vec{x}_{Lag}(t))}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u(\vec{x}_{Lag}(t))}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u(\vec{x}_{Lag}(t))}{\partial z^2}$$

15 Esta ecuación de conducción térmica se resuelve en tiempo real mediante el método de volúmenes finitos con el ordenador de proceso 15. Este método estándar de la matemática numérica es conocido por el técnico y trabaja con elementos volumétricos discretos de la barra 6. Para cada elemento volumétrico 20 debe resolverse la sencilla ecuación de conducción térmica tridimensional descrita, en el sistema de coordenadas con elementos fijos y que se mueve con  $v_{cast}$ . Esto se lleva a cabo periódicamente para un gran número de elementos volumétricos 20, con lo que se obtiene el campo de temperatura variable en el tiempo de toda la barra 6. En la figura 2 puede verse que la barra 6 se divide en elementos volumétricos 10, por ejemplo con una longitud de arista de 10 cm. Los elementos volumétricos 19 se crean en la coquilla y se siguen de forma correspondiente a la velocidad de colada a través de la instalación de colada continua.

25 Como se ha representado en la figura 2, el eje en grosor de barra x y el eje en anchura de barra y son simétricos a los bordes de la barra 6 que se solidifica. A causa de esta simetría espacial en la dirección en anchura de barra y en grosor de barra, es ventajoso calcular las variaciones de estado termodinámicas sólo en un cuadrante 20, es decir, en un cuarto de la sección transversal de barra.

30 Para resolver la ecuación de conducción térmica se necesitan también evidentemente la condiciones iniciales y las marco – como consecuencia del movimiento de los elementos volumétricos a través de la coquilla así como de diferentes zonas de refrigeración – variables en el tiempo.

La condición inicial para un elemento volumétrico nuevo a crear se expresa de la siguiente manera

$$T(\bar{x}_{Lag}(t_{start})) = T_{fund}$$

La condición marco se expresa en general de la siguiente manera

$$\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{Oberfläche} = q(t)$$

5 en donde

$\lambda(T)$  conductividad térmica en función de la temperatura en  $\left[ \frac{W}{m K} \right]$

$$\frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{Superficie}$$

gradiente de temperatura perpendicular a la superficie

10  $q(t)$  Corriente térmica específica respecto al tiempo  $t$

Para modelar la corriente térmica  $q(t)$  se utiliza dentro de la coquilla 1 refrigerada el siguiente planteamiento

$$q(t) = \alpha_{mold}(T_{surf}(t)) \cdot (T_{surf}(t) - T_{mold})$$

Por fuera de la coquilla se cumple

$$q(t) = \alpha_{water}(sw(t)) \cdot (T_{surf}(t) - T_{water}) + a_{roll}(t) \cdot (T_{surf}(t) - T_{roll}) + \underbrace{\sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_{surf}(t)^4 - T_{amb}^4)}_{radiación}$$

15 en donde

$\alpha_{mold}(T_{surf}(t))$  función de evacuación de calor de la coquilla

$\alpha_{water}(sw(t))$  función de evacuación de calor de la refrigeración de barra

$sw(t)$  cantidad de agua de refrigeración de la refrigeración de barra

$a_{roll}(t)$  función de evacuación de calor de los rodillos de apoyo

20  $\sigma$  constante de Stefan-Boltzmann

$\varepsilon$  el grado de emisión

$T_{surf}(t)$  temperatura superficial de la barra 6

$T_{amb}$  temperatura ambiente

Debido a que la ecuación de conducción térmica tridimensional está sin resolver hoy en día, se pretende comprobar la elevada precisión de la formulación conforme a la invención de la ecuación de conducción térmica, con una entalpía transformada  $E_{\text{trans}}$  con base en un ejemplo unidimensional. La resolución exacta de la ecuación de conducción térmica, teniendo en cuenta la variación de densidad en función de la temperatura (línea continua) se conoce en el caso unidimensional y se compara en la figura 3 con una formulación correcta en cuanto a masa (línea a trazos) y una formulación correcta en cuanto a masa y entalpía (línea punteada continua). En la figura 3 se muestra sobre la ordenada la distancia en la dirección de extracción de barra desde la coquilla y sobre la abscisa el grosor de una barra metálica en la dirección en grosor de barra. Como puede verse en la figura 3, en una formulación de la ecuación de conducción térmica correcta en cuanto a masa y entalpía el punto de solidificación profunda real está un poco más alejado de la coquilla que el punto de solidificación calculado, es decir, el punto de solidificación profunda se sobrevalora un poco. En comparación a esto, el punto de solidificación profunda se infravalora notablemente en una formulación de la ecuación de conducción térmica correcta en cuanto a masa, lo que puede conducir a unas situaciones críticas durante el proceso de colada continua.

Lista de símbolos de referencia

- |    |    |                                  |
|----|----|----------------------------------|
| 15 | 1  | Coquilla                         |
|    | 2  | Acero                            |
|    | 3  | Recipiente de mezclado           |
|    | 4  | Núcleo líquido de la barra       |
|    | 5  | Envoltura de barra               |
| 20 | 6  | Barra                            |
|    | 7  | Instalación de apoyo de barra    |
|    | 8  | Rodillos de apoyo                |
|    | 9  | División de rodillos             |
|    | 10 | Toberas de refrigeración         |
| 25 | 11 | Conducto de alimentación         |
|    | 12 | Válvula                          |
|    | 13 | Instalación de medición de flujo |
|    | 14 | Elemento de ajuste               |
|    | 15 | Ordenador de proceso             |
| 30 | 16 | Elemento regulador               |
|    | 17 | Unidad de introducción           |
|    | 18 | Unidad de entrega                |
|    | 19 | Elemento volumétrico discreto    |
|    | 20 | Cuadrante de la barra            |

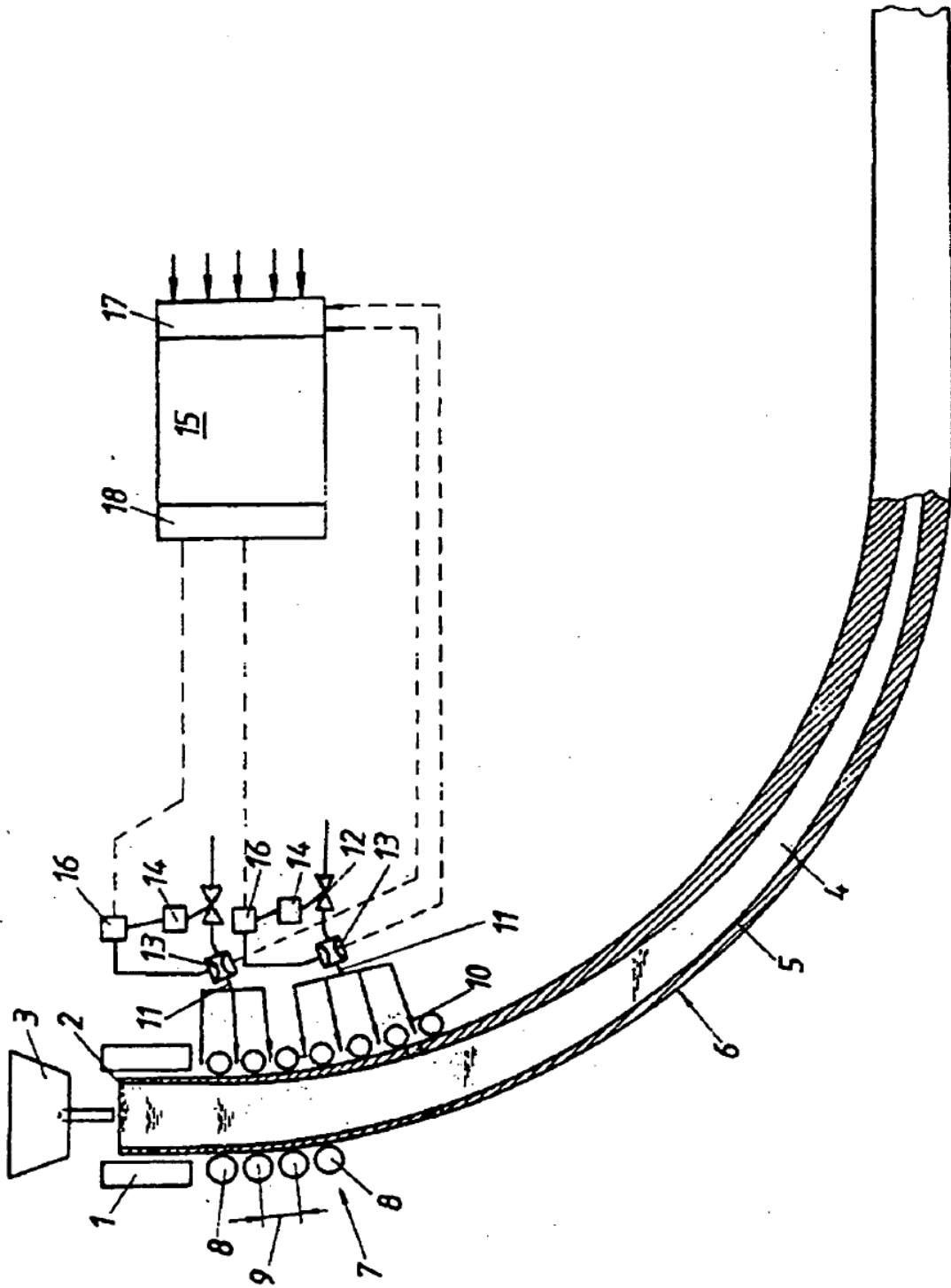
35



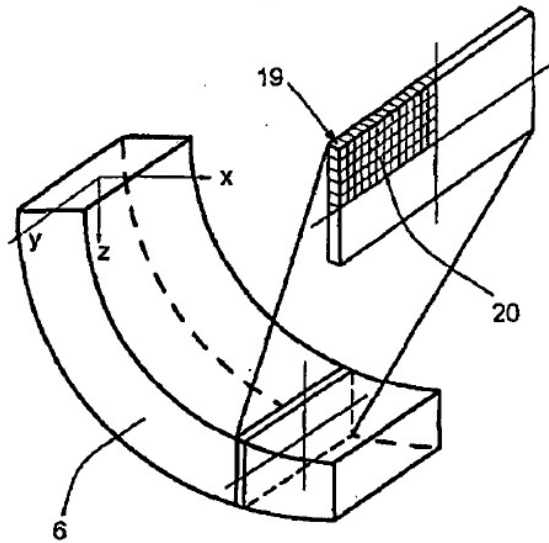
**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Procedimiento para la colada continua de una barra metálica (6) en una instalación de colada continua, en donde la barra metálica (6) con un núcleo líquido (4) confinado por una envoltura de barra (5) se extrae de una coquilla de circulación (1) refrigerada, se apoya en una instalación de apoyo de barra (7) asociada a la coquilla de circulación (1) y se refrigera con un refrigerante, en donde se calculan unas variaciones de estado termodinámicas de toda la barra metálica (6) en un modelo de simulación matemático, teniendo en cuenta los parámetros físicos del metal, del grosor de la barra metálica (6) y de la velocidad de extracción medida continuamente, caracterizado porque en el modelo de simulación matemático se resuelve numéricamente una ecuación de conducción térmica tridimensional en tiempo real, teniendo en cuenta las variaciones de densidad de la barra metálica (6) en función de la temperatura, y la refrigeración de la barra metálica (6) se ajusta teniendo en cuenta las variaciones de estado calculadas.
- 10 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la barra metálica (6) está configurada como una barra de acero.
- 15 3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque para la solución numérica de la ecuación de conducción térmica, teniendo en cuenta variaciones de densidad de la barra metálica (6) en función de la temperatura, se utilizan unas ecuaciones aproximativas para la entalpía, que presenten para toda la barra metálica (6) la masa exacta y la entalpía exacta.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la ecuación de conducción térmica se resuelve numéricamente mediante un método de volúmenes finitos o un método de elementos finitos.
- 20 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque las variaciones de estado termodinámicas, a causa de la simetría espacial, sólo se calculan para un cuarto (20) de la sección transversal de barra.

Fig. 1



**Fig. 2**



**Fig. 3**

Isotermas con diferentes algoritmos

