

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 029 069**

51 Int. Cl.:

B22D 11/00 (2006.01)
B22D 11/04 (2006.01)
B22D 11/055 (2006.01)
B22D 11/059 (2006.01)
B22D 11/07 (2006.01)
B22D 11/108 (2006.01)
B22D 11/12 (2006.01)
B22D 11/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.06.2020** **PCT/IT2020/050162**
 87 Fecha y número de publicación internacional: **30.12.2020** **WO20261311**
 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.06.2020** **E 20742945 (7)**
 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.04.2025** **EP 3990202**

54 Título: **Método de colada continua de un producto metálico**

30 Prioridad:

28.06.2019 IT 201900010347

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.06.2025

73 Titular/es:

DANIELI & C. OFFICINE MECCANICHE S.P.A.
(100.00%)
Via Nazionale 41
33042 Buttrio, IT

72 Inventor/es:

SGRO', ANTONIO;
DE LUCA, ANDREA;
ISERA, MASSIMILIANO y
ENTESANO, LUCA

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 3 029 069 T3

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

DESCRIPCIÓN

Método de colada continua de un producto metálico

CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un método para la colada continua a alta velocidad de productos metálicos, tales como tochos o similares.

En particular, el método según la presente invención permite fundir tochos con una velocidad de colada superior a la de los métodos conocidos, lo que aumenta la productividad, manteniendo una alta calidad del producto y sin requerir dispositivos de contención aguas abajo del cristalizador.

El método según la presente invención es particularmente adecuado para procesos de fundición y laminación que utilizan el modo sin fin, es decir, sin interrupciones entre la fundición y el laminado.

Se entiende en que el método mencionado anteriormente también puede utilizarse para otros modos de fundición y laminado, tales como, por ejemplo, de tocho a tocho o semi sin fin.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Se sabe que en las plantas de colada continua el corazón de la máquina de colada está constituido por el cristalizador en el que se introduce el metal líquido para solidificarse progresivamente, con la formación de una capa externa sólida.

El cristalizador está definido por un cuerpo tubular, o molde, fabricado en cobre o aleación de cobre, el cual es enfriado por medio de un fluido refrigerante de circulación forzada que retira calor indirectamente del metal líquido mediante el intercambio de calor entre éste y las paredes del cristalizador en contacto con el fluido refrigerante. Este enfriamiento realizado por el cristalizador se denomina enfriamiento primario.

Mediante este intercambio de calor, el metal líquido comienza a solidificarse externamente, provocando la formación de una película superficial que se va engrosando a medida que el producto se acerca gradualmente a la salida del cristalizador. El espesor de la capa superficial está influenciado por la velocidad de fundición, que determina el tiempo que el metal permanece en el cristalizador.

Al salir del cristalizador, la capa externa solidificada todavía contiene algo de metal líquido en su interior, que continúa solidificándose progresivamente a lo largo de la línea de colada.

A medida que aumentan los tamaños de la sección de colada y la velocidad de colada, y por lo tanto el espesor de la piel disminuye, generalmente es necesario proporcionar una cierta cantidad de sectores contenedores de tipo rodillo aguas abajo del cristalizador, a lo largo del segmento curvo de la máquina de colada; los rodillos están dispuestos sustancialmente alrededor de toda la sección del producto fundido. Los sectores de contención están configurados para evitar la hinchazón o abultamiento hacia afuera, o el llamado "abultamiento", de las paredes del tocho que se produciría debido a la presión ferrostática ejercida por el cabezal de metal líquido en el cristalizador. Este fenómeno de abombamiento se produce principalmente en el caso de tochos de fundición de sección cuadrada o rectangular con al menos un lado de un tamaño superior a 150 mm y una velocidad de colada superior a 4,5 - 5,0 m/min. La hinchazón o abultamiento puede provocar la formación de grietas que, si se extienden hasta la superficie externa, provocan la rotura de la piel, con la consiguiente fuga de metal líquido (escape) y la consiguiente interrupción de la producción, ensuciamiento y daños a la planta y peligro potencial para los trabajadores. Como hemos dicho anteriormente, para evitar que esto ocurra, el estado de la técnica prevé utilizar una pluralidad de rodillos contenedores, organizados en sectores, que rodean periféricamente todos los lados del tocho cuadrado o rectangular aguas abajo del cristalizador.

La posición de los rodillos de contención con respecto a la superficie externa del tocho debe ajustarse cuidadosamente para contener correctamente los lados de la sección.

La posición de los rodillos contenedores debe ajustarse considerando al menos la contracción dimensional del material, debido al enfriamiento a lo largo de la línea de colada, y la necesidad de no comprimir excesivamente el producto para no deformarlo y por lo tanto no obstaculizar su avance a lo largo de la línea de colada. De hecho, si por alguna razón el contacto entre la piel y los sectores que la contienen no se produce de la mejor manera posible, entonces existen posibilidades concretas de que la piel se pinche o se desgarre, provocando así posibles escapes.

Las operaciones para ajustar la alineación de los rodillos contenedores son necesarias cada vez que se produce un escape, o cuando se detecta un deterioro en la calidad del producto fundido, por ejemplo debido a la presencia de grietas internas o superficiales. Las operaciones de alineación son complejas y se realizan manualmente fuera de

línea por operarios especializados, lo que requiere varias horas de trabajo y que en consecuencia afecta a los costes de mantenimiento operativo.

5 Además, el mantenimiento de los sectores contenedores requiere suficientes piezas de repuesto en el almacén, con los consiguientes costes de gestión, e impone limitaciones al funcionamiento de la máquina de colada si se producen múltiples escapes próximos entre sí en el tiempo.

10 Aguas abajo del cristizador, por ejemplo, en los espacios intermedios entre los rodillos contenedores cuando están presentes, se han previsto dispositivos para enfriar el tocho, tales como boquillas para suministrar el líquido refrigerante, que sirven para solidificar progresivamente el metal líquido contenido en el interior de la carcasa externa hasta obtener la solidificación completa del tocho. Este enfriamiento se llama enfriamiento secundario.

15 En las plantas de colada continua, es conocida la necesidad de alcanzar altas velocidades de colada, con el fin de aumentar la capacidad de producción global de las plantas.

También se sabe que alcanzar altas velocidades de colada está correlacionado con la optimización de una pluralidad de parámetros técnicos y tecnológicos gracias a los cuales el metal líquido se solidifica parcialmente en el cristizador.

20 Los parámetros mencionados anteriormente se refieren principalmente a:

- las características geométricas y dimensionales del cristizador,
- la rigidez del cristizador,
- los modos de enfriamiento primarios del cristizador, de los cuales depende la capacidad de eliminar el calor en el interior de una longitud predeterminada,
- los modos de lubricación de las paredes internas del cristizador.

30 Se sabe que, en el estado de la técnica, los tochos de sección cuadrada de tamaños relativamente pequeños, es decir, con lados comprendidos entre 100 mm y 150 mm, normalmente permiten alcanzar velocidades de colada de 4,5-6,5 m/min sin requerir la contención aguas abajo del cristizador. Esta velocidad puede aumentarse significativamente con respecto a los valores indicados anteriormente, mientras todavía se garantiza la calidad del producto y la estabilidad del proceso, solo con la condición de que se adopte un dispositivo de contención de longitud adecuada. De hecho, a altas velocidades de colada, la piel que sale del cristizador es más fina y más caliente y tiende a "abultarse" más bajo la acción de la presión ferrostática, como se ha descrito anteriormente.

35 Para secciones cuadradas más grandes, por ejemplo con un lado de más de 170 mm, el requisito de contención se produce a velocidades de colada más bajas, por ejemplo de 4,0-4,5 m/min.

40 Los tochos de sección cuadrada también presentan una falta de uniformidad en la temperatura superficial entre la cara central de las paredes planas y los bordes; esta falta de uniformidad está presente tanto dentro como fuera del cristizador, provocando defectos durante la etapa de fundición y/o en los procesos de laminado posteriores, tal y como se explica a continuación.

45 En un cristizador de sección cuadrada, pueden presentarse estados de contacto no controlados entre la piel que se está formando y las paredes internas del cristizador, para un determinado segmento por debajo del menisco, en el que se produce un intercambio de calor desigual a lo largo del perímetro del tocho, lo que conlleva una diferencia en el espesor de la piel que se está solidificando.

50 En particular, cada borde del tocho que se está formando se somete a un enfriamiento más intenso ya que se somete a un enfriamiento simultáneo en ambos lados adyacentes al mismo borde. Por lo tanto, en correspondencia con los bordes la piel se forma más rápidamente que en las zonas planas, y también la contracción del material solidificado en los bordes es más rápida, pero esto determina el desprendimiento de la piel del cristizador, reduciendo así el intercambio de calor.

55 A medida que nos acercamos a los bordes, se produce un empeoramiento del contacto y, por tanto, una disminución de la capacidad de eliminar el calor, y en consecuencia el metal líquido tiene dificultades para solidificarse. Esto da como resultado un adelgazamiento localizado de la piel cerca de los bordes.

60 A modo únicamente de ejemplo, para un tocho cuadrado de formato pequeño, es decir, con un lado de 100-150 mm, fundido a una velocidad de 4,5-6,5 m/min, puede estimarse que a la salida del cristizador el espesor de la piel es de aproximadamente 11 mm - 13 mm en correspondencia con la cara central, mientras que es de aproximadamente 5 mm - 7 mm en la proximidad del borde.

65 A la salida del cristizador, dado que no hay contacto entre las caras del tocho y las paredes del cristizador, la presión ferrostática hace que los lados del tocho se abulten hacia afuera. La deformación debida al abombamiento de los lados se concentra en las zonas cercanas a los bordes donde la piel ya está adelgazada, por las razones

explicadas anteriormente, y determina una tracción en la parte interna de la piel, es decir, en el frente de solidificación, en la proximidad de los bordes, desencadenando grietas internas en la dirección de colada.

Estas grietas, también llamadas "grietas fuera de las esquinas", provocan una disminución de la calidad del tocho y pueden provocar deformaciones de la sección fundida, por ejemplo acentuando la forma romboidal, y en casos extremos pueden alcanzar la superficie externa, provocando la rotura de la piel y el consiguiente derrame de metal líquido.

La forma romboidal se acentúa aún más por el enfriamiento secundario proporcionado a la salida del cristalizador. El efecto de forma romboidal también repercute después de la fundición, por ejemplo en las cajas de laminación, provocando atascos.

Además, la frecuencia de estos problemas aumenta a medida que aumenta la velocidad de colada, lo que impone un límite a las velocidades máximas alcanzables y, por tanto, a la productividad de la máquina de colada.

Los fenómenos descritos anteriormente se producen en tochos con secciones de cuatro lados (cuadrangulares) porque estas secciones tienen paredes planas en un ángulo de 90 grados; además, estos fenómenos se acentúan cuando los radios de conexión entre las paredes son particularmente bajos, por ejemplo para tochos pequeños dichos radios son de 4-6 mm.

Como decíamos, fuera del cristalizador, el tocho se somete a un enfriamiento secundario a lo largo de toda la curva de colada para completar la solidificación del producto que aún presenta un núcleo líquido a la salida del cristalizador. Después del enfriamiento secundario, los cantos están más fríos que la cara central ya que reciben enfriamiento simultáneamente en los dos lados del canto y esto puede provocar la aparición de defectos y/o grietas en la zona de los cantos en el paso de laminado posterior.

Todos los problemas descritos anteriormente con referencia a los cristalizadores tubulares de sección cuadrada han limitado, hasta ahora, significativamente las velocidades de colada obtenibles.

Se sabe que la producción de tochos de sección redonda permite reducir, o incluso eliminar, los sectores contenedores a lo largo de la línea de colada, en comparación con la producción de productos de sección cuadrada, gracias a la mayor capacidad del producto redondo para sostenerse y resistir la presión ferrostática del metal líquido contenido por la piel solidificada.

También se sabe que la fundición de productos redondos permite tener una alta homogeneidad de enfriamiento de la sección transversal del producto fundido, ya que no hay aristas, y por tanto una alta calidad del propio producto fundido.

Por otro lado, sin embargo, los productos redondos no permiten alcanzar altas velocidades de colada ya que la conicidad interna del cristalizador, aunque estudiada y optimizada, no permite en todas las condiciones de proceso un contacto perfecto y constante con el producto colado, y por tanto, durante la contracción, la piel solidificada tiende a desprenderse de las paredes del cristalizador, reduciendo la uniformidad del intercambio de calor.

Generalmente se moldean secciones redondas equivalentes a secciones cuadradas con un lado de 100-150 mm con velocidades de colada más bien bajas comprendidas entre 3 y 4 m/min.

También se conoce la producción de materiales metálicos de sección poligonal, como se describe en el documento de Patente JP-A-06.134.550, que se refiere a un aparato para la colada continua de tochos y, más particularmente, a un molde de sección poligonal y a un dispositivo de soporte que comprende una pluralidad de grupos de rodillos de compresión debajo del molde.

También se conoce la Solicitud de Patente WO-A-2018/229808 a nombre del presente Solicitante, que describe un método de colada continua en el que se utiliza un cristalizador poligonal y se optimizan los parámetros de colada para obtener una determinada productividad sin requerir la utilización de sectores para contener el producto metálico fundido aguas abajo del propio cristalizador.

La presente invención propone pues dar respuesta a los problemas indicados anteriormente, aportando una solución que permita alcanzar velocidades de colada mucho más elevadas que las soluciones conocidas actualmente, en particular, pero no sólo, para procesos de colada en modo sin fin, y por tanto aumentar la productividad de las plantas siderúrgicas.

El objetivo de la presente invención es, de hecho, alcanzar velocidades de colada superiores a al menos 6 m/min, y hasta 15 m/min, sin utilizar ningún dispositivo de contención aguas abajo del cristalizador y a lo largo de la curva de colada.

Otro propósito es aumentar la productividad a más de 50 toneladas/h, hasta 150 toneladas/h.

Otro propósito de la presente invención es obtener productos fundidos con una calidad superficial e interna óptima.

El objetivo de la invención es, de hecho, producir productos de acero con la garantía de evitar fenómenos de abombamiento que conducen a la rotura de la piel, de modo que no sean necesarios dispositivos para contener el tocho aguas abajo del cristizador.

Además, la presente invención también pretende eliminar la aparición de grietas internas en la zona del borde, denominadas "grietas fuera de las esquinas (*off-corner cracks*)", así como hacer que la solidificación sea uniforme en todo el perímetro del cristizador tubular, eliminando la aparición de una forma romboidal en el producto fundido.

Otro propósito de la presente invención es reducir los costes de inversión (CAPEX) y los costes de operación (OPEX) también a través de la reducción considerable de las intervenciones de mantenimiento.

Otro aspecto no reivindicado de la invención es proporcionar un cristizador para colada continua adecuado para ser insertado en una planta de colada y laminación en la que los respectivos procesos están conectados directamente y tienen lugar sin interrupción en el flujo de material, es decir, en el llamado modo sin fin.

El Solicitante ha ideado, probado y materializado la presente invención para superar las deficiencias del estado de la técnica y para conseguir estos y otros propósitos y ventajas.

SUMARIO DE LA INVENCION

La presente invención se establece y caracteriza en la reivindicación independiente. Las reivindicaciones dependientes describen otras características de la presente invención o variantes de la idea inventiva principal.

La presente invención se refiere a un método de colada continua que comprende un cristizador que tiene características geométricas, dimensionales y tecnológicas específicas para la colada continua a alta velocidad de productos de acero, en particular tochos con una sección pequeña.

Según la invención, el cristizador está provisto de una sección transversal de forma octogonal y está contenido, como es sabido, en un molde.

Con el término "octogonal", aquí y en adelante en la descripción y reivindicaciones, queremos decir únicamente que la sección del cristizador comprende ocho lados, comprendiendo tanto octógonos regulares, es decir, con lados y ángulos internos iguales, como también octógonos irregulares, es decir, con algunos, o todos, los lados y/o ángulos diferentes entre sí.

El Solicitante ha comprobado que mediante la fundición de un producto con una sección de forma octogonal es posible alcanzar velocidades de fundición más elevadas que en las soluciones conocidas, por ejemplo de 6 m/min hasta 15 m/min, y al mismo tiempo es posible aumentar la capacidad autoportante de la estructura sólida del producto incluso para espesores de piel bastante finos.

Gracias a esta capacidad autosuficiente, los dispositivos de contención situados aguas abajo del cristizador pueden eliminarse por completo. De hecho, es una característica de la invención poder fundir un tocho con una sección de forma octogonal a las velocidades mencionadas anteriormente comprendidas entre 6 y 15 m/min sin necesidad de proporcionar sectores contenedores de tipo rodillo específico.

La forma octogonal de la sección transversal, gracias a sus características geométricas que optimizan el compromiso entre sección cuadrada y sección redonda, limitando sus respectivas y contrastantes desventajas y maximizando sus respectivas ventajas, confiere al producto metálico que sale del cristizador una notable rigidez estructural, limitando significativamente la deformabilidad de las paredes.

El cristizador está provisto de dispositivos de enfriamiento primario de alta eficiencia para lograr un elevado intercambio de calor entre la pared interna del cristizador y la piel del producto, con un valor de flujo térmico en correspondencia con el menisco mayor a 6 MW/m² y hasta 14 MW/m² y con un valor promedio comprendido entre 3 MW/m² y 5,5 MW/m².

Dado que el grosor de la piel es proporcional a la cantidad de calor restado, cuanto mayor sea el intercambio de calor, mayor será la velocidad de lanzamiento. En igualdad de condiciones, el cristizador según la invención permite por tanto aumentar la velocidad de colada con el consiguiente aumento de la productividad de la planta.

Los dispositivos de refrigeración pueden fabricarse según diferentes formas de construcción.

Según una posible variante, los dispositivos de refrigeración comprenden una camisa exterior al cristizador en la que circula el fluido refrigerante.

Según otra posible solución, los dispositivos de enfriamiento comprenden una pluralidad de canales longitudinales, realizados en el espesor de las paredes laterales, que se desarrollan en una dirección sustancialmente paralela al desarrollo longitudinal del cristalizador.

5 Según otra variante, el cristalizador está provisto en su superficie externa de una pluralidad de ranuras abiertas hacia el exterior y paralelas al desarrollo longitudinal del cristalizador que están cerradas por bandas de fibras, por ejemplo de carbono, impregnadas de una resina polimérica, para definir los canales de refrigeración.

10 La solución de realizar canales de enfriamiento directamente en el espesor de la parte de cobre del cristalizador, combinada con la presencia de un elemento de cierre realizado con bandas de fibras, es particularmente ventajosa ya que por una parte permite llevar el líquido refrigerante extremadamente cerca del acero a enfriar, y por otro lado garantiza una alta rigidez estructural del cristalizador.

15 Para compensar el estrechamiento de la sección del producto semiacabado de acero causado por su enfriamiento, el cristalizador está provisto de un cono interno de tipo simple, o también, ventajosamente, de tipo múltiple o parabólico, de modo que se garantice un contacto continuo del producto semiacabado con las paredes del cristalizador.

20 Si es de un solo tipo, la conicidad interna del cristalizador tiene valores comprendidos entre 0,8 %/m y 1,5 %/m.

Si es de tipo múltiple o parabólico, la conicidad interna del cristalizador presenta valores comprendidos entre 2 y 4 %/m en la zona del menisco y entre 0,2 y 1,0 %/m en la parte inferior del cristalizador, con un valor medio comprendido entre 0,8 y 1,5 %/m.

25 Según la invención, el cristalizador presenta una cavidad con una sección transversal de forma octogonal con una distancia entre dos paredes opuestas comprendida entre 110 mm y 220 mm, ventajosamente comprendida entre 110 mm y 200 mm, aún más ventajosamente comprendida entre 120 mm y 180 mm.

30 El cristalizador octogonal según la invención tiene además una longitud, determinada a lo largo de la línea de colada, que puede estar comprendida entre 500 mm y 1500 mm, preferiblemente entre 600 mm y 1200 mm y aún más preferiblemente entre 780 mm y 1100 mm.

35 Por tanto, puede observarse que, en comparación con un valor medio de los cristalizadores normalmente utilizados, existe una longitud mayor que permite aumentar el tiempo de contacto entre la pared del cristalizador y el acero, y por tanto obtener la formación de un espesor de piel a la salida del cristalizador adecuado a la velocidad de colada y a la conicidad utilizada.

40 El Solicitante ha experimentado que para fundir a altas velocidades y obtener una buena calidad del producto (también en productos laminados) es ventajoso utilizar polvos como sistema de lubricación y descargar el metal líquido desde la artesa al cristalizador a través de un descargador sumergido.

El molde comprende una pluralidad de rodillos de apoyo, integrados con él y dispuestos en el extremo de salida del cristalizador.

45 Los rodillos de apoyo guían la salida del producto fundido y tienen la función de mantenerlo centrado en el cristalizador de manera que las paredes del producto fundido estén todas en contacto con las respectivas superficies internas del cristalizador y por lo tanto el intercambio de calor sea uniforme en todas las caras.

50 En posibles implementaciones de la invención, los rodillos de apoyo están conectados a, y son integralmente móviles con, el molde.

A la luz de lo anterior, es posible mantener las características de alta calidad del producto fundido y mantener la velocidad de fundición alta desde 6 m/min hasta 15 m/min, obteniendo así una alta productividad de la planta comprendida entre aproximadamente 50 toneladas/h y aproximadamente 150 toneladas/h.

55 DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Estas y otras características de la presente invención se harán evidentes a partir de la siguiente descripción de algunas realizaciones, dadas como un ejemplo no restrictivo con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- 60 - La Figura 1 es una vista lateral esquemática de un aparato de colada continua, en el que puede utilizarse un cristalizador según la presente invención;
- La Figura 2 es una vista de sección transversal, a lo largo de la línea de sección II-II, de la figura 1;
- La Figura 3 es una variante de la Figura 2
- 65 - La Figura 4 es otra variante de la Figura 2;
- Las Figuras 5a-5d muestran esquemáticamente posibles formas de sección transversal del cristalizador según la

presente invención;

- La Figura 6 es un gráfico esquemático de la tendencia de la deflexión de deformación de un lado del octágono;
- La Figura 7 es una ilustración esquemática de una línea de colada;
- La Figura 8 es una ilustración esquemática de una posible aplicación de la presente invención;
- Las Figuras 9a, 9b y 9c muestran una tabla y dos gráficos correspondientes que comparan una pieza fundida que utiliza un cristalizador con sección cuadrada y una pieza fundida que utiliza un cristalizador con una sección octogonal equivalente.

Para facilitar la comprensión, se han utilizado los mismos números de referencia, siempre que ha sido posible, para identificar elementos comunes idénticos en los dibujos. Se entiende en que los elementos y características de una realización pueden incorporarse convenientemente en otras realizaciones sin aclaraciones adicionales.

DESCRIPCIÓN DE REALIZACIONES

A continuación nos referiremos en detalle a las diversas realizaciones de la invención, de las que se muestran uno o más ejemplos en los dibujos adjuntos. Cada ejemplo se suministra a modo de ilustración de la invención y no debe entenderse como una limitación de los mismos.

Antes de describir estas realizaciones, debemos aclarar también que la presente descripción no se limita en su aplicación a los detalles de la construcción y disposición de los componentes tal como se describe en la siguiente descripción utilizando los dibujos adjuntos. La presente descripción puede proporcionar otras realizaciones y puede obtenerse o ejecutarse de otras maneras diversas. También debemos aclarar que la fraseología y terminología utilizadas aquí son sólo para fines descriptivos y no pueden considerarse como limitantes.

Las realizaciones de la presente invención se refieren a un cristalizador de tipo tubular para colada continua indicado con el número de referencia 12, y configurado para solidificar el metal líquido que se introduce en su interior y producir un producto colado P a la salida.

Según la Figura 1, se esquematiza un aparato de colada continua, indicado en su conjunto con el número de referencia 10, en el que el cristalizador 12 está asociado de manera conocida a un molde 11 y define una línea de colada Z por la que transita el producto P en proceso de solidificación.

El cristalizador 12 tiene una longitud de cristalizador LM, determinada a lo largo de la línea de colada Z. Dicha longitud de cristalizador LM puede estar comprendida entre 500 mm y 1500 mm, preferiblemente entre 600 mm y 1200 mm y más preferiblemente entre 780 mm y 1100 mm.

El cristalizador 12 (Figura 2 y siguientes) presenta una cavidad de colada 13 con una sección transversal de forma sensiblemente octogonal, definida por ocho paredes 14 unidas entre sí en correspondencia con otras tantas aristas 15.

La sección transversal de la cavidad de fundición 13 definirá, por tanto, la forma de la sección transversal del producto fundido P a la salida del cristalizador 12. Por esta razón, en particular vinculada a una uniformidad de enfriamiento, es preferible, aunque no estrictamente vinculante, que la forma del octógono sea simétrica con respecto a dos ejes ortogonales entre sí.

En particular, dichos ejes definen respectivamente la simetría derecha-izquierda y la simetría intradós-extradós de la sección.

Las Figuras 5a-5d muestran posibles realizaciones de la sección octogonal de la cavidad de fundición 13 de un cristalizador 12.

Según posibles realizaciones, la sección del cristalizador puede ser un octógono regular con los lados, es decir, las paredes, todos iguales entre sí, de longitud W y los ángulos (α) entre los lados también iguales entre sí e iguales a 135 grados (Figura 5a).

De acuerdo con otras posibles realizaciones, se prevé que los lados puedan tener longitudes diferentes, donde la diferencia de longitud entre el lado más largo (W_L) y el lado más corto (W_S) del cristalizador puede variar del 5 % al 20 %, preferiblemente del 5 % al 10 %.

En estas realizaciones, la sección del cristalizador puede por tanto presentar 6 lados, opuestos entre sí, de longitud menor W_S y 2 lados, opuestos entre sí, de longitud mayor W_L , donde los ángulos (α) entre los lados adyacentes son todos iguales entre sí, de un valor de 135 grados, para respetar la simetría de la sección alrededor de los respectivos ejes, como en el ejemplo mostrado en la Figura 5b.

Según otras posibles variantes, de las cuales se muestra un posible ejemplo en la Figura 5c, la sección del cristalizador puede tener lados todos de igual longitud (W) y dispuestos de manera que formen ángulos de diferente

anchura (α_1 y α_2), donde los ángulos opuestos como anteriormente son iguales entre sí con un valor comprendido entre aproximadamente 125 grados y aproximadamente 145 grados, preferiblemente entre aproximadamente 130 grados y 140 grados.

5 La Figura 5d muestra una variante de la sección representada en la Figura 5c, en la que la sección del cristalizador está rotada 90°, en consecuencia, el producto colado P tendrá lados intradós y extradós diferentes a los del producto colado P generado por la sección de la Figura 5c.

10 Los bordes 15 se conectan ventajosamente con un radio de conexión comprendido entre 5 mm y 25 mm, preferiblemente entre 10 mm y 15 mm. Este radio define un área donde el intercambio de calor es mucho mayor que la mediana de las paredes. Este intercambio tiende a crear el desprendimiento de la piel sólida formada por contacto del metal líquido en las paredes del cristalizador y por tanto provoca la falta de un correcto intercambio de calor, con la consiguiente reducción localizada del espesor de la piel y el riesgo de formación de grietas longitudinales que pueden provocar también la rotura de la piel y la fuga de metal líquido (escape).

15 La elección de conectar las paredes del cristalizador, obteniendo una forma de sección correspondiente a la del tocho fundido, beneficia por otro lado las operaciones de laminación posteriores, donde un ángulo más redondeado reduce o evita el fenómeno de los solapes. Por otro lado, los valores de radio de conexión más altos son más sensibles a la formación de grietas longitudinales que pueden prevenirse eligiendo cuidadosamente el radio de conexión en función de la sección y la conicidad, para mantener el contacto entre la piel y la pared del cristalizador suficiente para una distribución uniforme del intercambio de calor incluso en la región de las esquinas.

20 Según posibles realizaciones (Figura 2), las paredes 14 pueden ser elementos distintos separados entre sí y conectados en correspondencia con los bordes 15 mediante medios de conexión, por ejemplo roscados.

25 Según posibles variantes (Figuras 3 y 4), las paredes 14 pueden realizarse, o conectarse entre sí, en un solo cuerpo para definir un cuerpo monolítico.

30 Las paredes 14 del cristalizador 12 pueden tener el mismo espesor para asegurar la uniformidad de enfriamiento del producto fundido P y ventajosamente tienen un espesor reducido, comprendido entre 12 y 30 mm para asegurar una rigidez adecuada del cristalizador.

35 El cristalizador 12 está provisto de dispositivos de enfriamiento 16, también llamados dispositivos de enfriamiento primario, configurados para enfriar el metal líquido en contacto con las paredes 14. Dichos dispositivos de refrigeración primaria son ventajosamente de alta eficiencia, con el fin de conseguir un alto intercambio de calor.

40 Según una posible variante (Figura 2), los dispositivos de enfriamiento 16 comprenden una camisa externa 29 en la que se inserta el cristalizador 12. Entre la camisa exterior 29 y el cristalizador 12 se define un espacio hueco 30, que rodea exteriormente todo el cristalizador 12 y en el que, durante su uso, circula el fluido refrigerante.

Según posibles soluciones de la invención, los dispositivos de refrigeración 16 (Figuras 3 y 4) comprenden canales de refrigeración 17 asociados con el cristalizador 12 y en los que circula un fluido refrigerante.

45 En particular, según una posible variante (Figura 3), el cristalizador 12 puede estar provisto, en el espesor de las paredes 14, de una pluralidad de canales de refrigeración 17 que se desarrollan en una dirección sustancialmente paralela al desarrollo longitudinal del cristalizador.

50 Según otra variante (Figura 4), el cristalizador 12 está provisto en su superficie externa de una pluralidad de ranuras 19 abiertas hacia el exterior y paralelas al desarrollo longitudinal del propio cristalizador 12.

55 Según una posible solución (Figura 4), se aplica una capa de revestimiento 18 sobre la superficie externa para cerrar las ranuras 19 con respecto al exterior y definir los canales de refrigeración 17. La capa de recubrimiento 18 puede estar realizada con bandas de fibras, por ejemplo de carbono, enrolladas alrededor del eje de la línea de colada Z e impregnadas con una resina polimérica.

Según otras soluciones, las ranuras 19 pueden cerrarse para definir los canales de refrigeración 17 según una y/u otra de las realizaciones descritas en la Patente WO-A-2014/207729 a nombre del solicitante.

60 Ventajosamente, para todas estas variantes, a fin de maximizar el intercambio de calor, se minimiza la distancia entre el fluido refrigerante y las paredes internas del cristalizador en contacto directo con el metal líquido. Esta distancia se mide en dirección ortogonal al eje del cristalizador y tiene un valor comprendido entre 8 mm y 10 mm. Según una posible solución, los dispositivos de refrigeración 16 pueden incluir elementos de alimentación y evacuación, no mostrados en los dibujos, y configurados para circular el fluido refrigerante por los canales de refrigeración 17.

65 Según la invención, la presión del fluido refrigerante en el segmento correspondiente a la zona superior del

cristalizador 12, que corresponde a la proximidad del menisco, está comprendida entre 6 y 20 bar, mientras que en la zona inferior del cristalizador, que corresponde sensiblemente a la parte final del cristalizador, está comprendida entre 2 y 10 bar.

5 En su interior, el cristalizador presenta un desarrollo sensiblemente cónico que se va estrechando gradualmente hacia abajo desde la zona del menisco hasta la zona de salida del cristalizador, para seguir la contracción progresiva del tocho a medida que se enfría gradualmente a lo largo del cristalizador, definiendo así una pendiente de las paredes internas con respecto al eje longitudinal del cristalizador.

10 La unidad de medida típica del cono se expresa en %/metro.

Como es sabido, un cristalizador puede presentar una única conicidad en toda su altura (conicidad "simple") o bien puede presentar diferentes tramos o segmentos con valores de conicidad decrecientes desde la sección de entrada hasta la sección de salida (conicidad "múltiple"), que varía escalonadamente de un segmento al siguiente, definiendo así una línea quebrada en varios puntos entre los segmentos consecutivos. La multiplicidad del cono múltiple normalmente es doble, triple, cuádruple. Por encima del cuádruple, es habitual definir la conicidad múltiple como conicidad "parabólica", ya que la línea discontinua tiene decenas de puntos y es tal que se aproxima a una variación continua de la conicidad, dentro de las tolerancias de trabajo de las paredes internas del cristalizador.

20 Según la invención, la conicidad interna del cristalizador puede ser de tipo simple o incluso de tipo múltiple o parabólico.

Si es del tipo simple, la conicidad tiene valores comprendidos entre 0,8 %/m y 1,5 %/m.

25 Si es de tipo múltiple o parabólico, la conicidad presenta valores comprendidos entre 2,0 y 4,0%/m en la zona del menisco y entre 0,2 y 1,0 %/m en la parte inferior del cristalizador, con un valor medio comprendido entre 0,8 y 1,5 %/m.

30 Gracias a la configuración cónica interna del cristalizador, es posible limitar al mínimo el desprendimiento del tocho de las paredes del cristalizador, ya que la contracción del tocho se compensa con el estrechamiento de la sección de la cavidad central.

Un tocho con sección de forma octogonal, en comparación con uno de forma cuadrada con una sección (área) equivalente, tiene la ventaja de tener una distribución media más alta y también más uniforme de la temperatura sobre la superficie externa de la sección transversal, con particular atención a las zonas de los bordes. La diferencia de temperatura entre los bordes y el centro de la cara es muy baja, del orden de 8-15 °C, en comparación con una sección cuadrada equivalente, donde la diferencia es del orden de 40-65 °C. Además, la zona interna (o núcleo) de la sección octogonal es, en promedio, más cálida que una sección cuadrada, por lo que presenta un promedio de entalpía más favorable.

40 El tocho octogonal también tiene ventajas en el proceso de laminación: de hecho, como el ángulo obtuso entre los lados de la sección es más abierto, permite una mayor analogía con la sección redonda y por tanto un menor riesgo de los llamados "solapes" durante la etapa de laminación y, por tanto, menos defectos en los productos laminados.

45 Además, como ya se ha explicado anteriormente, el ángulo obtuso del tocho octogonal tiene una temperatura más alta, conlleva un menor desgaste de los canales de los cilindros de laminación.

La forma octogonal permite además ventajosamente tener una mayor uniformidad de intercambio de calor en el cristalizador, en particular en la zona inmediatamente inferior al menisco, es decir, donde se produce el mayor intercambio de calor y coincidiendo con la formación de la primera piel. Esta mayor uniformidad se traduce en un espesor de la piel más homogéneo en el perímetro, tanto entre una y otra cara del producto, como también a lo largo de la misma cara.

50 Una piel con un grosor homogéneo es menos propensa a la formación de grietas debajo de la piel que pueden dar lugar a brotes.

El dispositivo de enfriamiento según la presente invención está configurado de manera que permite intercambiar flujos térmicos elevados en una distancia relativamente pequeña, es decir, dentro de la longitud del cristalizador definido anteriormente. Estos flujos térmicos son superiores a unos 6 MW/m² y pueden llegar hasta 14 MW/m² en correspondencia con el menisco, para velocidades de colada comprendidas entre 6 m/min y 15 m/min. Considerando los valores medios, el caudal térmico está comprendido entre 3 MW/m² y 5,5 MW/m².

De acuerdo con las posibles soluciones, el cristalizador de forma octogonal según la presente invención está configurado para una alta productividad, es decir, superior a 50 toneladas/h y hasta aproximadamente 150 toneladas/h, también de acuerdo con el método descrito en la Patente WO-A-2018/229808 a nombre del Solicitante.

Como es sabido, el metal líquido producido en el horno de fusión de la acería se descarga desde la cuchara a una artesa situada más abajo, y desde allí se descarga continuamente dentro del cristalizador hasta alcanzar un nivel superior determinado, o menisco M.

- 5 Una de las condiciones fundamentales en el proceso de fundición es trabajar lo más posible en condiciones estacionarias, en particular en la zona del menisco. De hecho, las perturbaciones del menisco son responsables de la mayoría de los defectos que se encuentran aguas abajo, desde grietas hasta la forma romboidal.

10 Además, la reducción de la fuerza de fricción entre el producto fundido y la pared interna del cristalizador constituye otra condición importante para aumentar la velocidad de fundición y mejorar la calidad del propio producto.

Para este fin, como es sabido, se distribuyen materiales lubricantes como polvos o aceites lubricantes por encima del menisco para minimizar la fricción entre la piel que se está formando y las paredes internas del cristalizador.

- 15 Los materiales lubricantes en contacto con el metal líquido se convierten en líquido o vapor y crean una capa de lubricante que se interpone entre el metal líquido 12 y las paredes internas del cristalizador.

20 También se sabe que el metal líquido puede ser descargado desde el artesa al cristalizador a través de un chorro libre no guiado o a través de un descargador, cuyo extremo de salida está situado por debajo del nivel del menisco M (descargador sumergido o SES).

25 El Solicitante ha experimentado que para fundir a altas velocidades en condiciones estacionarias y obtener una buena calidad del producto (también en el producto laminado), es ventajoso utilizar lubricante en polvo como sistema de lubricación en el cristalizador y descargar el metal líquido desde la artesa al cristalizador a través de un descargador sumergido o SES.

30 Los polvos lubricantes permiten un efecto aislante beneficioso y una distribución más homogénea sobre el menisco. En particular, los polvos se esparcen sobre el baño metálico en una cantidad adecuada, donde se funden en contacto con el metal líquido formando una escoria superficial que se infiltra en el intersticio entre el metal de colada y el cobre del cristalizador, asegurando la lubricación necesaria para el deslizamiento.

Estos polvos son una mezcla mecánica de silicatos y/o aluminio-silicatos de metales alcalinos y/o alcalinotérreos con adición de carbono elemental elegido entre grafito amorfo, coque o negro de humo.

- 35 Según un aspecto de la presente invención, aguas abajo del molde 11, ventajosamente, no existe ningún dispositivo de contención para contener la deformación hacia el exterior de las caras del producto fundido P. De hecho, el solicitante ha comprobado que, gracias al dimensionamiento y al diseño adecuado del cristalizador 12, como se ha indicado anteriormente, es posible fundir una sección octogonal a alta velocidad sin la ayuda de sectores de contención y, al mismo tiempo, evitar el fenómeno de abombamiento o, peor aún, la rotura de la película del producto fundido P.

Al eliminar los dispositivos de contención del estado del arte, es posible por tanto eliminar las acciones periódicas de ajuste/alineación que los mismos requieren y que, como es sabido, son costosas en tiempo y costes.

- 45 De acuerdo con posibles implementaciones de la invención, el molde 11 comprende una pluralidad de rodillos guía, también llamados rodillos de apoyo 25, dispuestos en el extremo de salida del cristalizador 12 y que son parte integral del molde 11.

50 Los rodillos de apoyo 25 guían la salida del producto fundido P y tienen la función de mantenerlo centrado en el cristalizador 12 de manera que las paredes del producto fundido P estén todas en contacto con las respectivas superficies internas del cristalizador 12 y por tanto el intercambio de calor sea uniforme en todas las caras como resultado.

- 55 En posibles implementaciones de la invención, los rodillos de apoyo 25 están conectados a, y son integralmente móviles con, el molde 11.

Para este fin, los rodillos de apoyo 25 pueden instalarse sobre un elemento de soporte común 26 fijado al molde 11.

60 Según las posibles soluciones, los rodillos de apoyo 25 pueden agruparse en al menos un grupo de rodillos de apoyo, en el caso mostrado en la Figura 1 dos grupos de rodillos de apoyo 25, espaciados a lo largo de la línea de colada Z. Cada grupo de rodillos de apoyo 25 rodea al menos parcialmente, durante el uso, una sección transversal del producto colado P.

- 65 Los rodillos de apoyo 25 de cada grupo están situados en un mismo plano paralelo a la sección transversal del producto fundido P.

Los rodillos de apoyo 25 se instalan directamente aguas abajo de la salida del cristalizador 12.

Según una posible realización de la invención, el molde 11 puede comprender un número de grupos de cuatro rodillos de soporte 25 comprendido entre 1 y 4, preferentemente 2.

De acuerdo con las posibles soluciones, los rodillos de apoyo 25 se instalan en una porción longitudinal de la línea de colada Z que tiene una longitud de guía LG.

La longitud de guía LG puede estar comprendida entre 150 mm y 800 mm, preferiblemente entre 200 mm y 500 mm.

Según las posibles implementaciones, la velocidad de colada Vc es mayor a 6 m/min, preferiblemente mayor a 6,5 m/min y puede alcanzar hasta 15 m/min.

En particular, para una sección de forma octogonal con dimensiones equivalentes a las de una sección cuadrada de lado comprendido entre 150 y 200 mm, pueden alcanzarse velocidades comprendidas entre 6 y 8 m/min, mientras que para un lado comprendido entre 100 y 150 mm, pueden alcanzarse velocidades comprendidas entre 8 y 15 m/min.

Este ajuste de la velocidad de colada Vc permite alcanzar una alta productividad de la planta siderúrgica.

En algunas realizaciones, el radio de la máquina Rm, es decir, el radio de curvatura de la línea de colada Z, puede ser un valor comprendido entre 5 m y 25 m, preferiblemente entre 7 m y 20 m, aún más preferiblemente entre 10 m y 15 m, aún más preferiblemente entre 9 m y 12 m.

La piel del producto colado P, a la salida del cristalizador, debe tener un espesor tal que, bajo la acción de la cabeza de metal líquido, los lados de la sección transversal del producto colado se deformen como máximo en una deflexión predefinida "f".

Específicamente, los lados del producto fundido P se comportan de una manera razonablemente parecida a la de una viga que tiene sus extremos empotrados y está sometida a una carga distribuida uniformemente que es la presión ferrostática, como se muestra en la Figura 6. La sección de esta viga tiene forma rectangular con un lado menor "b" y un lado mayor "h". Este último representa el espesor de la piel solidificada en el plano de flexión de la viga.

La desviación "f" puede, por tanto, determinarse mediante la relación:

$$f = \frac{p \cdot b \cdot W^3}{384 \cdot E \cdot I}$$

en la que:

- "p" es la carga distribuida que actúa sobre la piel del producto fundido P a la salida de los rodillos de pie 25 y que puede determinarse mediante la relación: $p = \rho \cdot g \cdot H$

en la que H (Figura 7) es la altura de la cabeza de metal líquido que actúa sobre la piel del producto fundido P a la salida de los rodillos de apoyo 25.

H también puede determinarse como $H = Rm \cdot \sin(\theta) = Rm \cdot \sin(L / Rm)$

- W es la longitud del lado del octágono regular

- E es el módulo de elasticidad, o módulo de Young, del material fundido

- "I" es el momento cuadrático superficial de la sección resistente definido por la relación $I = \frac{b \cdot h^3}{12}$, en la que "h" representa el espesor de la piel solidificada, que también puede expresarse mediante la fórmula empírica $h = K \sqrt{(L / Vc)}$.

La constante de solidificación K puede determinarse a partir de la literatura y es un valor variable en relación al tamaño y tipo de producto fundido P y por tanto del proceso de fundición que se lleva a cabo.

Según una posible solución, la deflexión de deformación admisible "f" de cada lado del octógono, es decir, la deformación permitida y debida al efecto de abombamiento, es menor del 5 %, preferiblemente menor del 3 %, aún más preferiblemente menor del 1,5 % de la longitud W del lado del octógono regular.

La deflexión por deformación puede expresarse en términos absolutos y en este caso se indica con "F", se mide en milímetros y se obtiene de la siguiente manera: $F=f*W$.

De acuerdo con otra realización de la invención, el aparato 10 comprende al menos un medio de guía 27, en este caso específico dos medios de guía 27, configurados para guiar el producto fundido P a lo largo de la línea de colada Z.

Según una posible realización de la invención, cada medio de guía 27 comprende al menos un, en este caso específico sólo uno, par de rodillos de guía 28 posicionados respectivamente en el lado intradós y extradós del producto fundido P.

Los medios de guía 27 están instalados en una posición fija y están configurados para guiar el producto de colada P a lo largo de la línea de colada Z.

También se dispone de una pluralidad de elementos de enfriamiento 32, instalados aguas abajo del molde 11 y configurados para enfriar el producto fundido P. Este enfriamiento, realizado sobre el producto a la salida del molde 11, se denomina enfriamiento secundario y sirve para acondicionar el proceso de solidificación del núcleo aún líquido del producto fundido. Los elementos de enfriamiento 32 pueden comprender una pluralidad de boquillas de suministro 34, interpuestas entre los rodillos de pie 25 y los rodillos guía 28, y configuradas para suministrar un líquido para enfriar el producto fundido P, por ejemplo agua, o un fluido mixto aire-agua (aire-niebla).

La presión de impulsión a la salida de las boquillas puede estar comprendida ventajosamente entre 0,5 y 12 bar, preferiblemente entre 1 y 10 bar, aún más preferiblemente entre 1,5 y 9,5 bar, para garantizar un correcto enfriamiento y por tanto una correcta solidificación del producto fundido P en el rango de velocidad de 6 a 15 m/min.

En cuanto a la intensidad del enfriamiento secundario, deben garantizarse caudales de agua específicos adecuados, cuantificables, por ejemplo, en 1,2 - 2,5 l/kg de acero fundido, preferiblemente 1,7 - 2,1 l/kg, mientras que la densidad de enfriamiento (l/min por m²) tiene que ser mayor en la parte superior de la máquina de fundición, donde las temperaturas del producto fundido son más altas, la vaporización del agua de enfriamiento es más fuerte y la piel todavía es relativamente delgada y, por lo tanto, se facilita la transmisión de calor con el núcleo líquido.

La homogeneidad de la temperatura en el perímetro de la sección transversal puede obtenerse eligiendo adecuadamente el número de boquillas y la tendencia de su emisión de líquido refrigerante. También es ventajoso prever un control selectivo de la emisión de las boquillas entre el lado frontal y el lado posterior del producto fundido P, aumentando la emisión en el lado posterior para compensar la falta de fenómenos de estancamiento en la zona cóncava del lado frontal.

Para obtener la homogeneidad de las temperaturas del producto fundido P en la dirección longitudinal de la línea de colada, se controla dinámicamente la emisión total y/o la distribución de la densidad de enfriamiento a lo largo de la máquina de colada, a fin de mantener la temperatura superficial del producto fundido P prácticamente constante, en un rango de 900 a 1200 °C, preferiblemente de 1000 a 1100 °C. La temperatura se ve influenciada por diversos parámetros, como el tamaño de la sección transversal del producto fundido, la velocidad de colada, la temperatura de sobrecalentamiento del acero líquido, la magnitud de los intercambios de calor en el molde y la composición química del acero fundido. Las temperaturas superficiales del producto fundido P se calculan mediante modelos de solidificación adecuados que tienen en cuenta:

- la composición química del acero;
- la sensibilidad del acero a los gradientes térmicos (posibles grietas internas o superficiales en dirección transversal o longitudinal);
- características geométricas de la máquina de fundición;
- velocidad de colada esperada;
- longitudes metalúrgicas esperadas.

Para este fin, el sistema de refrigeración secundaria está formado por varias zonas de boquillas comandadas por válvulas sectoriales para agua y/o agua-aire en el caso de "aire-niebla", que en la parte superior de la máquina de colada pueden comprender boquillas tanto en la parte frontal como en la trasera, mientras que en la parte inferior pueden diferenciarse entre la parte frontal y la trasera. Estas válvulas solo pueden controlar algunas de las boquillas, para poder tener más de un comando de enfriamiento activo.

El cristalizador descrito hasta ahora puede instalarse ventajosamente en una planta siderúrgica en la que una línea de colada alimenta directamente la línea de laminación, por ejemplo en modo sin fin, reduciendo enormemente, o incluso eliminando, la necesidad de calentamiento intermedio, gracias a la mayor velocidad de colada y por tanto a la mayor temperatura del producto fundido.

Según las posibles implementaciones (Figura 8), el cristalizador descrito anteriormente también puede instalarse en una planta siderúrgica 100 provista de varias líneas de colada para la producción de tochos.

La planta 100 puede comprender una primera línea de laminación 101 situada directamente en línea con una primera línea de colada y configurada para laminar el producto fundido por ejemplo en modo sin fin (co-laminación).

5 La planta puede comprender también líneas de colada adicionales, paralelas a la primera, que alimentan una segunda línea de laminación 103 en modo de carga directa en caliente, mediante una placa de transferencia común 102 situada aguas abajo de las líneas de colada.

10 Un dispositivo de calentamiento por inducción 104 para el calentamiento rápido de las piezas puede interponerse directamente antes de la primera línea de laminación 101 y/o de la segunda línea de laminación 103.

10 Para resaltar las ventajas que se obtienen al utilizar un cristalizador que tenga las características indicadas anteriormente, se muestran las Figuras 9a, 9b y 9c muestran respectivamente una tabla comparativa, y dos gráficos en los que se comparan los principales parámetros de colada, sin contención, respectivamente de un cuadrado y un octógono de sección (área) equivalente.

15 La longitud del cristalizador se ha ajustado a 1000 mm con una longitud de enfriamiento útil de 880 mm.

Para el lado del cuadrado equivalente se han considerado longitudes comprendidas entre 100 mm y 200 mm.

20 Como puede verse, la ausencia de contención hace necesario utilizar, en el caso de cuadrados, velocidades de colada mucho menores, con la consiguiente menor productividad. Es significativo notar que el tiempo de permanencia, en relación a la diferente velocidad de colada, es mucho más corto en el caso de un octágono en comparación con el del cuadrado equivalente. El flujo térmico también es mucho mayor si se funde un tocho con forma octogonal en función de las características del cristalizador descritas anteriormente.

25 Es evidente que pueden realizarse modificaciones y/o adiciones de piezas al cristalizador tal como se ha descrito anteriormente, sin alejarse del alcance de la presente invención, tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Método de colada continua de un producto metálico (P), para obtener una productividad comprendida entre 50 toneladas/h y 150 toneladas/h, que comprende:

- suministrar un cristalizador que tiene una cavidad de colada (13), en la que se cuela el metal líquido, definida por paredes (14) conectadas entre sí en correspondencia con los bordes (15), en donde el nivel superior del metal líquido define un menisco (M), en donde dicha cavidad (13) tiene una sección transversal de forma octogonal con una distancia entre dos paredes opuestas comprendidas entre 110 mm y 220 mm, y una longitud "LM" comprendida entre 500 mm y 1500 mm, y presenta una conicidad convergente hacia abajo de tipo simple comprendido entre 0,8 %/m y 1,5 %/m, o de tipo múltiple o parabólico comprendido entre 2 %/m y 4 %/m en la zona del menisco (M), y de entre 0,2 %/m y 1,0 %/m en la parte inferior del cristalizador, en donde la distancia entre el fluido refrigerante y las paredes internas del cristalizador en contacto directo con el metal líquido, medida en una dirección ortogonal al eje del cristalizador, tiene un valor comprendido entre 8 mm y 10 mm;
- proporcionar rodillos de pie (25) a la salida del cristalizador;
- proporcionar rodillos guía (28) directamente aguas abajo de los rodillos de pie (25) para definir un radio de máquina Rm comprendido entre 5 m y 25 m, preferiblemente entre 7 m y 20 m, más preferiblemente entre 10 m y 15 m, y aún más preferiblemente entre 9 m y 12 m;
- proporcionar una refrigeración primaria en el cristalizador con un valor de flujo térmico en correspondencia con el menisco superior a 6 MW/m² y hasta 14 MW/m² y con un valor medio comprendido entre 3 MW/m² y 5,5 MW/m²;
- realizar la colada una velocidad de colada entre 6 m/min y 15 m/min,

en donde la presión del fluido refrigerante en el segmento correspondiente a la zona superior del cristalizador (12), que corresponde a la proximidad del menisco, está comprendida entre 6 y 20 bar, mientras que en la zona inferior del cristalizador (12), que corresponde sustancialmente a la parte final del cristalizador (12), está comprendida entre 2 y 10 bar.

2. Método, según la reivindicación 1, **caracterizado por que** proporciona que dicho producto (P), colado de forma continua, se someta después a un proceso de laminación en una línea de laminación (101, 103) en modo sin fin, es decir, sin interrupciones entre la colada continua y el laminado.

3. Método, según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** la presión de suministro a la salida está comprendida entre 0,5 y 12 bar, a fin de garantizar un enfriamiento correcto y una solidificación correcta del producto fundido P en el rango de velocidad de 6 a 15 m/min, y la intensidad del enfriamiento secundario está definida por caudales de agua de 1,2 - 2,5 litros por kg de acero fundido proporcionados por boquillas de suministro (34) interpuestas entre los rodillos de pie (25) y los rodillos guía (28), mientras que la densidad de enfriamiento es mayor en la parte superior de la máquina de colada, donde las temperaturas del producto fundido son más altas, la vaporización del agua de enfriamiento es más fuerte y la piel todavía es relativamente delgada, y por lo tanto se facilita la transmisión de calor con el núcleo líquido.

4. Método, según cualquier reivindicación anterior, **caracterizado por que** dichas paredes (14) tienen un espesor comprendido entre 12 mm y 30 mm y están conectadas por bordes (15) con un radio de conexión comprendido entre 5 mm y 25 mm.

5. Método, según cualquier reivindicación anterior, **caracterizado por que** las paredes (14) tienen tamaños iguales y todos los ángulos entre dichas paredes (14) tienen un valor de 135°.

6. Método, según cualquier reivindicación 1 a 4, **caracterizado por que** solo las paredes opuestas (14) tienen tamaños iguales, existiendo al menos una pared larga de mayor longitud (WL) y al menos una pared corta de menor longitud (WS), y todos los ángulos entre dichas paredes (14) tienen un valor de 135°.

7. Método, según la reivindicación 6, **caracterizado por que** la diferencia de longitud entre la pared más larga y la más corta (14) varía del 5 % al 20 %.

8. Método, según cualquier reivindicación anterior, **caracterizado por que** la longitud "LM" está comprendida entre 600 mm y 1200 mm, y más preferiblemente entre 780 mm y 1100 mm.

9. Método, según cualquier reivindicación anterior, **caracterizado por que** dichos bordes (15) tienen un radio de conexión comprendido entre 10 mm y 15 mm.

10. Método, según cualquier reivindicación anterior, **caracterizado por que** el cristalizador comprende, en su superficie externa, una pluralidad de ranuras (19) abiertas hacia el exterior y paralelas al desarrollo longitudinal del propio cristalizador (12), configuradas para recibir líquido de refrigeración.

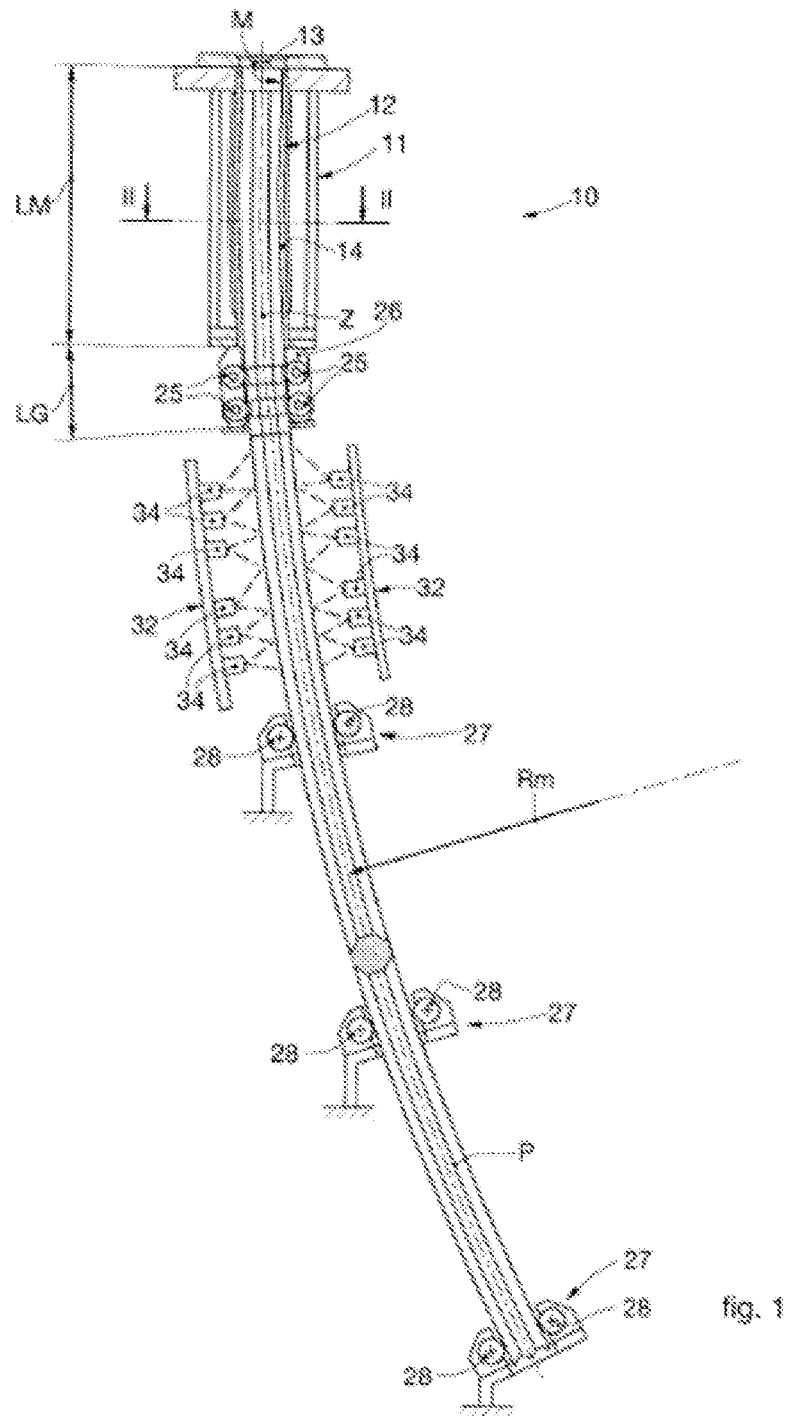
11. Método, según la reivindicación 10, **caracterizado por que** el cristalizador comprende, en su superficie externa, una capa de recubrimiento (18) adecuada para cerrar dichas ranuras (19) respecto al exterior y definir canales de

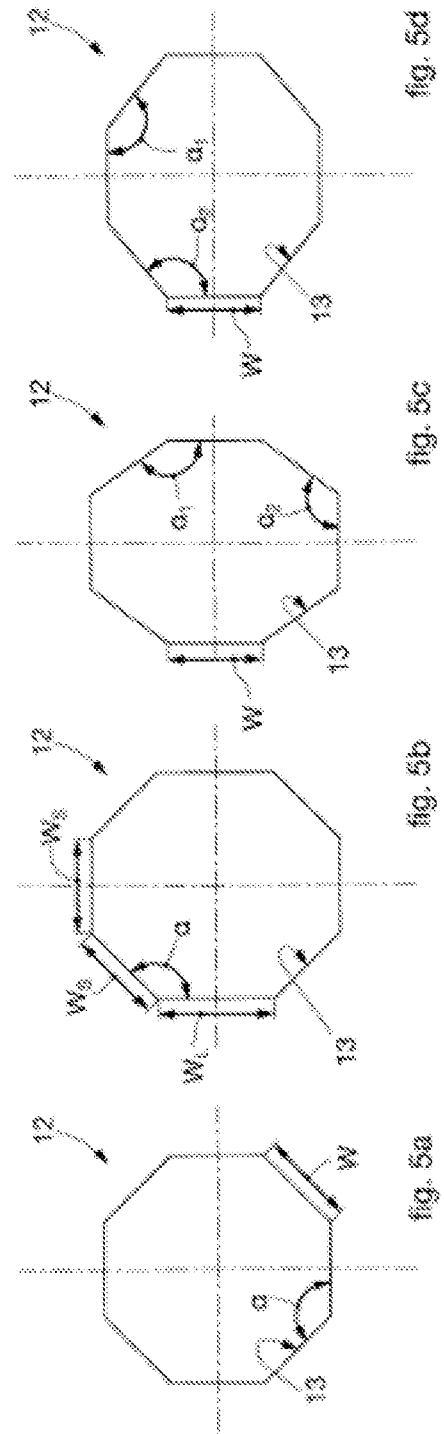
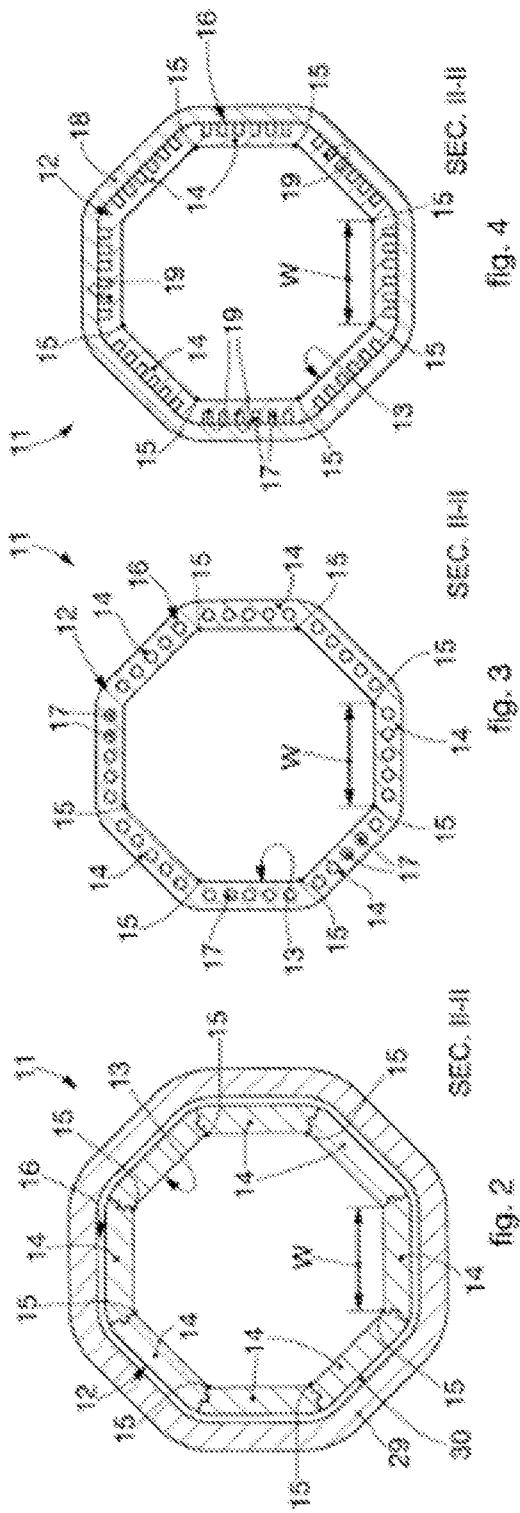
refrigeración (17).

12. Método, según la reivindicación 11, **caracterizado por que** dicha capa de recubrimiento (18) está hecha de bandas de fibras impregnadas con una resina polimérica.

5

13. Método, según cualquier reivindicación de la 1 a la 9, **caracterizado por que** el cristizador comprende canales de refrigeración (17) realizados en el espesor de las paredes del cristizador (12) y configurados para recibir un fluido refrigerante.





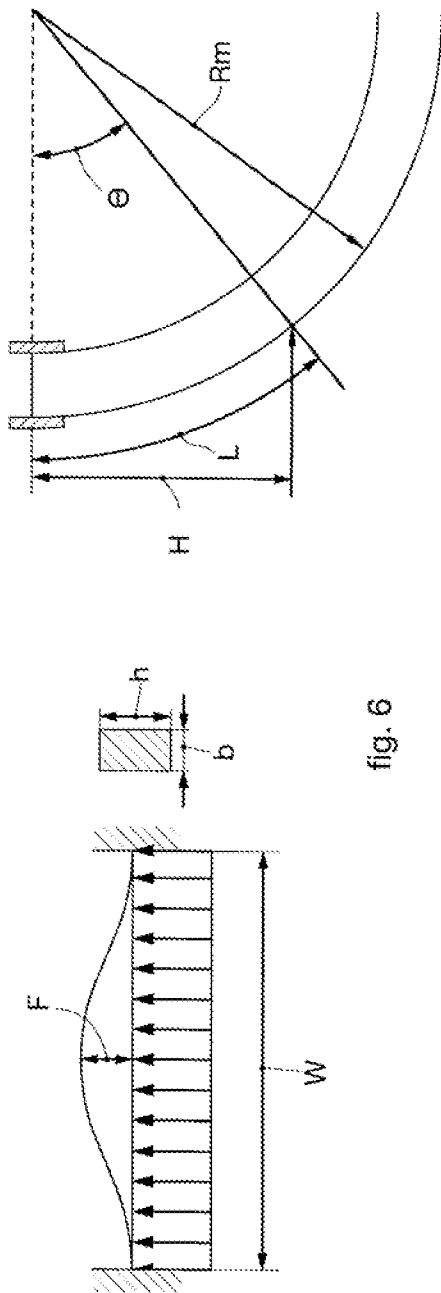


fig. 6

fig. 7

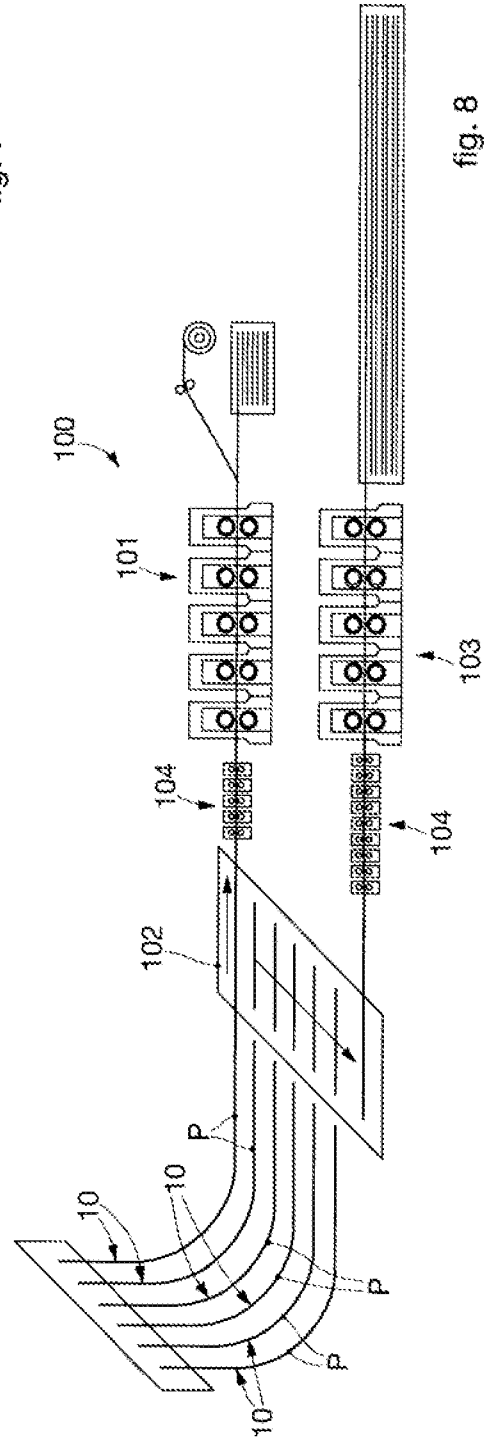


fig. 8

