



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 285 558**

51 Int. Cl.:
B22D 11/115 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **04805290 .6**

86 Fecha de presentación : **22.10.2004**

87 Número de publicación de la solicitud: **1677928**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **12.07.2006**

54 Título: **Procedimiento de remoción electromagnética para la colada continua de productos metálicos de sección alargada.**

30 Prioridad: **27.10.2003 FR 03 12555**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.11.2007

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.11.2007

73 Titular/es: **ROTELEC**
Tour Mercuriales 40, rue Jean Jaurès
93170 Bagnolet, FR

72 Inventor/es: **Kunstreich, Siebo**

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 285 558 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 de remoción electromagnética para la colada continua de productos metálicos de sección alargada.

La presente invención se refiere a la colada continua de metales, principalmente de acero. Se refiere más particularmente a la remoción electromagnética de productos de sección recta alargada a lo largo de la colada, y más precisamente aún al establecimiento, en el seno de la partida todavía en el estado líquido del metal colado, de una distribución particular de flujos con ayuda de campos magnéticos aplicados.

Se recuerda que se entiende por "producto de sección recta alargada" de los productos metalúrgicos cuya anchura es al menos el doble del espesor, principalmente los lingotes, lingotes pequeños, lingotes delgados, etc...

Aparecido en el campo de la colada continua del acero al principio de los años setenta, el remoción electromagnética se ha afirmado rápidamente como una herramienta casi ineludible para el dominio de flujos en el pozo de metal líquido durante la solidificación. Se recuerda que el principio llevado a cabo más corrientemente es el bien conocido de la magneto-hidrodinámica (MHD) que, por medio de un campo magnético móvil (que gira o que desliza) generado por uno o más generalmente varios inductores polifásicos dispuestos en la proximidad inmediata del producto colado, arrastra el metal líquido en su desplazamiento. Convenientemente situados sobre la altura metalúrgica de la máquina de colada, estos inductores, alimentados en la corriente eléctrica de frecuencia ajustable, permiten entonces modos de remoción variadas, adaptables a las necesidades de metalurgista.

Por otro lado, los progresos constantes realizados en la comprensión de mecanismos de solidificación del metal durante la colada continua muestran la importancia que revisten precisamente los movimientos de circulación del metal líquido sobre la calidad en general (es decir salud interna, limpieza de superficie o inclusionaria, estructura de solidificación, etc...) del producto solidificado obtenido.

A este respecto, los movimientos impresos al metal en fusión durante la colada continua pueden clasificarse esquemáticamente en dos categorías distintas, según que se considere la lingotera o, por debajo, los estratos del enfriamiento secundario de la máquina de colada.

Los movimientos impuestos al metal líquido en el seno de la lingotera, allí donde la fracción metálica líquida es ampliamente mayoritaria, buscan en lo esencial un control de flujos en este lugar sensible. Es ahí en efecto que se encuentra la superficie libre del metal colado cuya propiedad interna por ejemplo depende mucho de la forma geométrica de esta superficie. Es ahí también donde nace en particular la primera piel de solidificación de la que se sabe la importancia mayor de esta tanto sobre la calidad de superficie del producto colado obtenido como sobre el dominio del procedimiento de colada en sí mismo.

En cambio, para un remoción del metal en el pozo líquido bajo la lingotera, en la zona del enfriamiento secundario por consiguiente (se dice más corrientemente "en el secundario"), se busca más una mejora de la estructura metalúrgica interna del producto vía el desarrollo de una solidificación de tipo equiaxial la más ancha posible que se sabe favorable tanto pa-

ra la microsegregación de los elementos de aleación como a la ausencia de porosidades centrales del producto colado, principalmente. Así, un recurso para un remoción electromagnética en colada continua de lingotes es cada vez más frecuente desde el momento en que se trata de realizar productos que exigen una salud interna exenta de porosidad, como las chapas fuertes para placas de calderería por ejemplo o gruesos tubos soldados.

Se aceptará aquí simplemente, para una mejora comprensión de la invención que será expuesta a continuación, que es bien conocido, como lo muestra el esquema de la figura 3 adjunta que viene del documento FR 72 20546, de disponer, en el enfriamiento secundario de una máquina de colada continua de lingotes, de inductores lineales 41, 41' dispuestos enfrente el uno del otro, de una y otra parte de las caras grandes del producto colado y que producen campos magnéticos que deslizan transversalmente según la anchura de este. Se busca así establecer en el seno del metal líquido flujos que, para lo esencial, se desarrollan en dos bucles adyacentes que giran en sentidos contrarios. Estos bucles 42, 43 se establecen paralelamente a las caras grandes y se superponen según la altura del producto colado de una y otra parte de una zona de acción motriz transversal común del campo magnético, remontando las corrientes de cada bucle a lo largo de una pequeña cara y descendiendo a lo largo de la pequeña cara opuesta. Tal configuración de movimientos se designa clásicamente como "configuración en alas de mariposa".

Es posible, como se muestra en la figura 4 adjunta extraída, ella, del documento FR 2528739, multiplicar según la altura de la máquina de colada las zonas de acción motriz transversales 51, 52... de los campos magnéticos. Se le confiere en este caso sentidos de rotación opuestos dos a dos entre los bucles los más próximos vecinos, con el fin por ejemplo de concernir un volumen removido lo más importante posible para una potencia de remoción disponible dada. Se realiza así una topología de movimientos, dicha en "configuración en triple cero" formada por tres bucles adyacentes girando en sentido opuesto dos a dos: un bucle central-60 situado entre las dos zonas motrices transversales 51 y 52 y dos bucles externos, 61 y 62, a una y otra parte del bucle central y que gira en el mismo sentido.

Cualquiera que sea la variante retenida, esta puede realizarse tanto con inductores situados detrás de los rodillos de sostén de la zona de enfriamiento secundario de la máquina de colada, como entre estos rodillos (FR 2187468), o alojados en el seno mismo de estos (FR 2187467). Lo mismo sucede por lo que se refiere a los medios de llevar a cabo la invención que se explicarán a continuación.

Parece que, históricamente, el descubrimiento de este tipo de movimientos, basado en una recirculación del metal en bucles que se desarrollan en un plano paralelo a las grandes caras del lingote, provienen del hecho de que, contrariamente a los productos largos, en colada continua de productos planos, la forma alargada de la sección recta del producto no se presta fácilmente al establecimiento de un movimiento de rotación estable alrededor del eje de colada. La razón principal se debe probablemente a los fuertes gradientes de velocidad que esto necesita en el espesor de un producto, que no pasa apenas de una veintena de cm para los más espesos.

En cambio, una configuración en bucles superpuestos, del tipo que se muestra en las figuras 3 y 4, que se desarrollan sobre la altura metalúrgica paralelamente a las caras grandes del producto no comporta tal desventaja. Presenta por añadido la ventaja de asegurar un mejor intercambio térmico entre el alto y el bajo de la máquina de colada. El metal en fusión más caliente de lo alto se lleva en convección forzada hacia el bajo por las corrientes descendentes 42a y 43a, mientras que las corrientes que remontan 42b y 43b vienen a sembrar el alto en cristalitas de metal solidificado colectadas en el bajo, favoreciendo así el desarrollo precoz de una solidificación de tipo equiaxial ancho y regular de la periferia hasta el centro del producto colado. Sin embargo, no se pueden desarrollar esto bucles 42, 43 demasiado vigorosamente hacia lo alto como se querría por riesgo a perturbar la superficie libre del metal en lingotera. Se sabe hoy en efecto hasta que punto la preservación del frágil equilibrio hidrodinámico de los flujos en la lingotera que prevalecen a ese nivel es necesario en la obtención de la calidad de superficie, subcutánea e interna del producto colado.

Ahora bien, se encuentra precisamente que la introducción del metal a colar por lo alto de la lingotera con ayuda de una buza sumergida con orificios de salida laterales que se abren en frente de las pequeñas paredes de la lingotera se ha prácticamente generalizado en nuestros días, suplantando la buza recta con salida axial única, desde entonces prácticamente reservada a los únicos productos largos. Una ventaja mayor obtenida sobre los flujos en la lingotera reside en el hecho de que, como lo muestra el esquema de la figura 1 adjunta, por un fenómeno de rebote contra las paredes pequeñas de extremidad de la lingotera, el chorro de metal líquido caliente derivado de cada orificio laterales 27, 27' de la buza 26, se reparte entonces naturalmente en dos fracciones. Una fracción principal 21 se dirige hacia el bajo, en el sentido de la extracción del producto colado. La otra, 22, se refleja hacia lo alto de manera a aportar a la cercanía de la superficie libre 23 del metal en lingotera la entalpía necesaria para evitar fenómenos de endurecimiento del metal colado a nivel del menisco, que son a menudo la causa de paradas accidentales de la colada. Se busca así realizar en lingotera un modo de circulación dicho en "doble bucle", en contraste con el modo "simple bucle".

Este último, representado en la figura 7, se traduce primero por un fenómeno de remontada del metal hacia el menisco desde su salida de los orificios de la buza, que resulta a menudo de una inyección de argón de anti-taponamiento en la buza desde el repartidor de la colada situada arriba. Esta remontada inmediata hacia lo alto se prolonga luego por una corriente en superficie hacia cada pequeña cara y una redescendente a lo largo de esta. De este modo, se establece así rápidamente en lingotera una cartografía de las velocidades globalmente dirigidas hacia el bajo en el sentido de extracción del producto con ausencia del bucle superior 22 de aporte del metal "caliente" al menisco.

El modo "doble bucle" no se adquiere sin embargo durablemente durante la colada más que si las condiciones de colada se prestan (velocidad de colada, anchura del lingote, profundidad de inmersión de la buza de colada, caudal de argón de anti-taponamiento, etc...). Pueden aparecer transiciones aleatorias en modo "simple bucle" a lo largo de la colada si estas

condiciones fluctúan, lo que corresponde de hecho al caso general.

Por añadidura, un aspecto esencial, en término de dominio de los flujos en "doble bucle" en la lingotera, reside en la conservación en el seno de la lingotera de una simetría "izquierda-derecha" de los movimientos de recirculación en el menisco de una y otra parte de la buza. Se sabe en efecto que la aparición de asimetrías a este nivel está en el origen de fenómenos de oscilaciones del baño metálico que pueden conducir a un fenómeno de balanceo redhibitorio de la superficie que conoce bien el operador sobre el suelo de la colada. Esto significa que se debe procurar que las corrientes 22, 22' de recirculación parcial hacia lo alto sean antes de todo estabilizadas en el tiempo para evitar la aparición de asimetrías "izquierda-derecha". Estas corrientes ascensionales, aún siendo suficientemente eficaces térmicamente para aportar las calorías deseadas al menisco, no deben sin embargo ser muy intensas en el plano de la hidrodinámica con el fin de evitar agitar demasiado la línea 25 de primera solidificación que se forma en el borde del menisco con la pared en cobre enfriada de la lingotera. La regularidad de esta línea de primera solidificación es la garantía en efecto de la homogeneidad de la formación de la primera piel en lo alto de la lingotera sin la que se corren inevitablemente riesgos incurridos de pinchar bajo la lingotera por incrustaciones de escoria o por debilitaciones locales del espesor de la piel solidificada.

Dicho más simplemente, en colada con buzas sumergidas con orificios laterales, se puede obtener durante una misma colada de manera aleatoria o, en todo caso, no necesariamente deseada, flujos en la lingotera que son bien del tipo "doble bucle", bien del tipo "simple bucle", bien flujos inestables por el hecho de asimetrías "izquierda-derecha".

Es principalmente por razón de estas dificultades del dominio de los flujos en la parte alta de las máquinas de colada continua que se ha visto aparecer más recientemente sistemas de remoción electromagnéticas que actúan en lingotera ya sobre los chorros de salida laterales de la buza. Como muestran los esquemas de las figuras 2a y 2b adjuntos, extraídos del documento JP 57075270, estos campos magnéticos móviles horizontalmente son producidos por inductores lineales polifásicos 30a, 30b y 30a', 30b' dispuestos sobre las grandes paredes de la lingotera 32 en frente de la trayectoria de salida de los chorros de metal por una parte y otra de la buza 31. Según la regulación del sentido de deslizamiento de los campos, es posible entonces frenar la corriente del chorro concerniente (deslizamiento de campos a contra corriente, que van de la pared pequeña hacia la buza -fig 3b₁) o, por el contrario, de acelerarla (deslizamiento a la misma corriente en el sentido que va de la buza hacia la pared pequeña 3b₂). Esto permite ajustar en principio los aportes entálpicos hacia la superficie del metal colado en función por ejemplo de las condiciones de colada, sin perturbar demasiado el modo de flujo en una lingotera que, este, debe preservarse prioritariamente.

Se ve bien por lo tanto, a través del rápido recordatorio presentado anteriormente del estado anterior de la técnica, la división, véase la antinomia, que existe de hecho en colada de productos de sección recta alargada entre remoción del metal en lingotera por un lado y remoción en el enfriamiento secundario del otro.

La presente invención tiene precisamente por objetivo solventar tal desventaja. Dicho de otra manera, aplicable a la colada continua de productos de sección recta alargada, los lingotes en particular, la invención apunta, vía un movimiento de remoción del conjunto estudiado del metal en fusión según la altura metalúrgica, procurar un buen intercambio del metal aún líquido en los dos sentidos entre la zona del enfriamiento secundaria y la lingotera. Por este hecho, se realizará una homogeneidad tanto térmica como química entre el alto y el bajo del pozo de metal líquido colado sin perturbar el modo de flujo en la lingotera y, llegado el caso, sin privarse sin embargo de efectos benéficos acumulados propios de la remoción en la lingotera y a la remoción en el enfriamiento secundario respectivamente.

Un objetivo complementario de la invención es contribuir a la mejora de la calidad metalúrgica de matices de acero de los que se busca una buena salud interna, como los matices para las chapas fuertes o para los tubos gordos soldados, los aceros inoxidables ferríticos, o los aceros eléctricos al silicio.

Otro objetivo complementario es poder actuar sobre los flujos en el secundario para utilizarlos a nivel de los chorros de colada derivados de la buza bien como un agente acelerador, bien por el contrario como un agente de frenado del metal que llega a la lingotera, bien también como un medio para oponerse a las veleidades de asimetría "izquierda-derecha" de movimientos del metal en el seno de la lingotera.

Con estos objetivos a la vista, la invención tiene por objetivo un procedimiento de remoción electromagnética en la zona del enfriamiento secundario de una instalación de colada continua de lingotes, u otros productos análogos de sección recta alargada, cuya lingotera está dotada de una buza de colada sumergida con orificios laterales dirigidos hacia las pequeñas caras, procedimiento de remoción llevado a cabo con ayuda de campos magnéticos deslizantes generados por inductores polifásicos dispuestos en la proximidad del metal colado, caracterizado porque se fuerza, en dicha zona del enfriamiento secundario, el establecimiento de un flujo longitudinal del metal líquido localizado en la región mediana del producto colado según dos corrientes colineales antagonistas.

Actuando así, se establece naturalmente una circulación de conjunto del metal líquido en el secundario que se organiza en una figura de "trébol de cuatro hojas" que tiene dos lóbulos superiores y dos lóbulos inferiores y cuyos dos lóbulos superiores se extienden en lingotera hasta el nivel de los chorros derivados de los orificios de salida de la buza de colada.

Conforme a una variante, se crean esas dos corrientes colineales antagonistas longitudinales en la parte media del producto que se alejan la una de la otra, de manera que los dos lóbulos superiores que se extienden en lingotera hasta el nivel de los chorros derivados de los orificios de salida de la buza de colada se confunden con ellos en la misma corriente para reforzarlos.

Conforme a otra variante, se crean esas dos corrientes colineales antagonistas longitudinales en la parte media del producto que convergen uno hacia el otro de manera que los dos lóbulos superiores que se extienden en lingotera hasta el nivel de los chorros derivados de los orificios de salida de la buza de colada se superponen a ellos en contracorriente para frenarlos.

Según una realización particular del procedimiento, se desplaza lateralmente la localización del flujo longitudinal en el secundario hacia una u otra de las pequeñas paredes del producto colado con el fin de oponerse las tendencias a la asimetría "izquierda-derecha" de los movimientos del metal en el seno de la lingotera.

Conforme a una puesta en práctica, se crea el flujo metálico longitudinal en la región media del producto colado según dos corrientes colineales antagonistas con ayuda de campos magnéticos móviles colineales deslizantes longitudinalmente en dicha región media, bien al acercarse el uno del otro, bien al alejarse.

Conforme a una puesta en práctica preferida, se crea el flujo metálico longitudinal en la región media del producto colado según dos corrientes colineales antagonistas con ayuda de campos magnéticos móviles colineales deslizantes transversalmente según la anchura del producto colado, bien al acercarse el uno del otro del borde hacia el centro del producto colado, bien al alejarse el uno del otro del centro hacia el borde del producto colado.

Conforme a otra puesta en práctica preferida, -se generan los campos magnéticos deslizantes con ayuda de inductores lineales polifásicos que se disponen en frente de las caras grandes del producto colado.

En una variante, se alimentan los inductores con corrientes eléctricas de intensidades diferentes, con el fin de regular diferentemente la acción sobre las dos corrientes metálicas colineales antagonistas creadas por los campos magnéticos deslizantes que generan.

Por deslizamiento "colineal" de campos o de flujos metálicos, hay que comprender que los campos magnéticos, respectivamente las corrientes de metal, se deslizan no paralelamente uno respecto del otro si no sobre la misma línea, como con dos vectores colineales con respecto a dos vectores paralelos.

Según se ha comprendido, la invención consiste en fundiciones principales, en crear en la zona de enfriamiento secundaria una cruz de remoción con dos ramas transversales y dos ramas longitudinales. Las ramas transversales (u horizontales si se supone el eje de colada vertical) se desarrollan según la anchura del producto colado y las dos ramas longitudinales (o verticales) se desarrollan en la región media (más habitualmente axial) del producto colado.

Y es la formación en la secundaria de tal cruz de remoción que, en razón de los flujos de recirculación en figura a cuatro lóbulos que resultan en el seno del pozo líquido, va a crear una configuración global de movimientos que conciernen igualmente la región de la lingotera tal que los objetivos antes mencionados buscados por la invención sean alcanzados.

La invención será bien comprendida y otros aspectos aparecerán más claramente a la vista de la descripción que sigue dada como referencia de las chapas de dibujos anexos sobre las que:

- las figuras de 1 a 4 son representativas de la técnica anterior ya considerada anteriormente.

Más precisamente:

• la figura 1 es un esquema habitual que muestra someramente en corte vertical medio paralelo a las grandes paredes de la lingotera la cartografía conocida de los movimientos de circulación del metal líquido que llega a una lingotera de colada continua de lingotes por una buza sumergida dotada de orificios de salidas laterales que se abren en frente de pequeñas paredes laterales;

• las figuras 2a, 2b₁, y 2b₂ son esquemas, según dos vistas (en perspectiva a la izquierda y en sección a la derecha), de modos conocidos de remoción electromagnética en lingotera de colada continua de lingotes con buza sumergida con orificios de salidas laterales (cf. fig. 1) con ayuda de inductores polifásicos lineales situados a una y otra parte de la buza sobre cada pared grande y que producen campos magnéticos que se deslizan horizontalmente en sentidos opuestos dos a dos sobre la misma pared grande, bien el mismo sentido que el chorro de salida del metal al que se aplica (fig. 2b₂), bien en sentido contrario (fig. 2b₁ y 2a);

• la figura 3 es un esquema simplificado que muestra en perspectiva un lingote durante la colada continua en la zona del enfriamiento secundario de la máquina de colada. Esta zona está dotada de un par de inductores lineales dispuestos en frente el uno del otro de cada lado del producto según la anchura de este y que generan un campo magnético que se desliza horizontalmente de manera a realizar un modo de remoción electromagnético en forma “de alas de mariposa” conocido por ejemplo en el documento FR 2187467 antes citado;

• la figura 4 es un esquema análogo al anterior de la fig.3, pero que muestra un modo de remoción electromagnético en “triple bucle”, tal como se ha realizado por ejemplo por la puesta en práctica de la enseñanza del documento FR 2528739 antes mencionado;

- las otras figuras, numeradas de 5 a 9 son propias de la invención. Más precisamente:

• la figura 5 es un esquema general, visto en corte vertical axial paralelo a las grandes paredes de una lingotera de colada continua de lingotes dotada de una buza sumergida con orificios de salidas laterales que se abren en frente de pequeñas paredes laterales, que muestran el principio de la remoción global en trébol de cuatro lóbulos en la zona del enfriamiento secundario según una de las puestas en práctica de la invención en la que las corrientes antagonistas longitudinales se alejan la una de la otra, y la cartografía de los movimientos de circulación del metal líquido que resulta en el seno de esta zona justo debajo de la lingotera;

• la figura 6 es un esquema análogo al de la figura 5, pero en el caso en el que el modo de flujo en la lingotera es, ya no en “doble bucle”, si no en “bucle simple”;

• la figura 7a es una esquema que, sobre la base de una reproducción de la figura 5, muestra un medio de realización de la remoción en trébol de cuatro lóbulos con ayuda de inductores lineales con campo magnético que desliza horizontalmente;

• la figura 7b es un esquema análogo a la figura 7a, pero que ilustra otro modo de realización de esta puesta en práctica de la invención con ayuda esta vez de inductores lineales de campo magnético que se desliza verticalmente;

• la figura 8 es también un esquema que sobre la base de una reproducción de la figura 5, ilustra un modo preferido de realización de la invención que instaura una circulación complementaria en modo “doble bucle” en lingotera con ayuda de inductores lineales de campo deslizante horizontalmente que actúan directamente sobre los chorros del metal que sale de los orificios de la buza de colada;

• la figura 9 ilustra la otra variante de puesta en práctica de la invención que consiste en crear flujos

longitudinales antagonistas en la parte media del producto colado, ya no divergentes, si no convergentes.

Se recuerda que las figuras 1 a 4 han servido de soporte a la exposición de la técnica anterior ya realizada al principio de esta memoria. No se volverá a ello por lo tanto en lo que sigue.

Sobre las figuras 5 a 9 representativas del modo de remoción en el secundario propio de la invención en estas dos variantes (divergentes o convergentes en el centro), los campos magnéticos deslizantes, así como los inductores lineales que los producen, se representan por las flechas verticales u horizontales espesas. Los movimientos de convección producidos se representan por las trayectorias principales en forma de trazos portadores de punta de flecha que indican el sentido de circulación del movimiento sobre la trayectoria portadora. Los trazos llenos representan zonas de convección activas, por lo tanto de circulaciones sometidas a la acción de campos magnéticos deslizantes. Los trazos discontinuos representan las zonas de convección pasiva, dicho de otro modo de zonas de recirculación, que son necesariamente complementarias a las precedentes para asegurar el bucle de los movimientos.

Sobre estas figuras, los mismos elementos se designan bajo referencias idénticas. Llegado el caso, para no sobrecargar inútilmente ciertas figuras, las referencias recurrentes no han sido dadas con el fin de dejar más claridad a los elementos esenciales de la invención representados sobre estas figuras.

Sobre cada una de ellas se ha representado una lingotera 1 de colada continua de lingotes seguida por debajo por la zona 2 del enfriamiento secundario de la máquina de colada, aquí voluntariamente desprovista de los rodillos de sostén para no perjudicar inútilmente la claridad del dibujo. Estando las vistas en un plano paralelo a las grandes paredes de la lingotera, solo son visibles en 3 y 3' las pequeñas paredes laterales, que van a determinar las pequeñas caras 18, 18' del producto colado 6. Las grandes caras que están en el plano de las figuras, no están referenciadas sobre las figuras. Además, para más claridad, se designará bajo la referencia 6 indiferentemente el lingote colado en ella misma o su núcleo aún líquido designado más generalmente “pozo de solidificación”.

Una buza sumergida 4 centrada sobre el eje de colada A (confundido aquí como es clásicamente el caso con el eje longitudinal del producto colado), alimenta la lingotera en metal en fusión desde un repartidor no representado situado por encima. Esta buza está dotada de orificios de salidas laterales 5 y 5' giradas cada una en frente una de la otra de las pequeñas paredes 3 y 3' respectivamente. El formato del producto colado está determinado por las dimensiones interiores de la lingotera que define el espacio de colada en el que llega el metal en fusión bajo la forma de chorros 7, 7' que salen de orificios de la buza 4 clásicamente según una dirección media más o menos horizontal, o ligeramente inclinada hacia abajo. El producto colado progresa así de lo alto, desde el nivel del menisco 8, hacia el bajo, en el sentido de extracción de la máquina de colada, a la vertical o según una trayectoria curva en un plano ortogonal al de la figura, con una velocidad de extracción (velocidad de colada) habitualmente del orden del metro por minuto. Durante su progresión, se solidifica progresivamente desde su periferia hasta el centro por extracción de su calor interno, primero en la lingotera 1 al contacto con las paredes en cobre en-

friado, luego en la zona del enfriamiento secundario 2 bajo el efecto de rampas de regado de agua.

Se recuerda que la altura metalúrgica (o profundidad de pozo de solidificación), se define clásicamente como la diferencia de cotas sobre la vertical entre el nivel de la superficie libre del metal colado en lingotera (o menisco) y el del fondo del pozo de solidificación en la parte baja de la zona del enfriamiento secundario, ahí donde se reencuentran los frentes de solidificación que termina que se desarrollan sobre cada una de las grandes caras del producto colado a medida que progresa la solidificación.

A aproximadamente 3 o 4 cm bajo el menisco 8, por lo tanto en el seno de la zona de enfriamiento secundaria 2, se localiza arbitrariamente sobre el eje longitudinal del producto (confundido con el eje de la colada A) un punto P que se calificará de centro de la cruz de remoción 9 propio de la invención. Esta cruz 9 es una cruz de cuatro ramas, colineales dos a dos: dos ramas longitudinales (aquí verticales) 10a, 10b, que forman un par alineado sobre el eje de colada A, y dos ramas transversales (aquí horizontales) 11a, 11b que forman una pareja que se desarrolla según la anchura del producto colado. En cada una de las dos ramas de una misma pareja, el metal líquido circula en sentidos opuestos dos a dos. Además, la circulación del metal en una pareja está en el lado opuesto al de la otra pareja.

En razón del carácter dimensional necesariamente "terminado" del producto colado, estas ramas, como se ve, se unen de alguna forma entre ellas por bucles de recirculación para formar un flujo de conjunto que se desarrolla en el plano de las caras grandes del producto colado en figura de trébol de cuatro hojas, constituyendo las hojas los lóbulos L1, L2, L3, L4, de los que los dos superiores, L1 y L4, se extienden hasta la lingotera al nivel de chorros de salida 7 y 7'.

Así, según un modo de remoción representado sobre las figuras 5 a 8, la pareja de ramas verticales está en convección de tipo "divergente". Las corrientes de metal se alejan la una de la otra desde el centro P. Una, 10a, fluye hacia la lingotera 1 situada por encima, la otra, 10b, fluye hacia abajo, en el sentido de extracción del producto colado, en dirección del lugar de cierre del pozo de solidificación. En la pareja horizontal 11a, 11b, la convección del metal es entonces de tipo "convergente": confluyendo las corrientes metálicas la una hacia la otra en dirección del centro de confluencia P al circular de las caras pequeñas laterales del producto hacia el eje longitudinal A.

Como ya se ha dicho, las corrientes metálicas que forman estas ramas se crean por campos magnéticos deslizantes, ellos mismos generados por inductores lineales dispuestos en la proximidad inmediata del producto colado en frente de estas caras grandes (preferentemente las dos caras). Bien entendido, no es necesario que las dos parejas de ramas sean activadas simultáneamente por los campos magnéticos. Solamente puede serlo una, por ejemplo las ramas verticales 10a, 10b, la otra 11a, 11b, volviéndose entonces naturalmente el sitio de una recirculación por reacción, ya que el centro P funciona como un nudo de paso de corrientes que conserva los caudales máxicos y las cantidades de movimiento, y recíprocamente.

Por el contrario, según este primer modo de remoción de la invención, importa que las ramas verticales 10a y 10b sean efuentes, como se muestra sobre las figuras 5 a 8. En los lóbulos superiores L1 y L4 pró-

ximos de la lingotera, el metal remonta entonces al centro y desciende a lo largo de pequeñas caras, e inversamente en los lóbulos inferiores L2 y L3.

Se encuentra que en estas condiciones, la puesta en práctica de la invención maximiza los intercambios de materia metálica entre el bajo y el alto del pozo líquido. Por una parte, en efecto, la circulación en bucle del metal en un lóbulo cualquiera se efectúa en un sentido de rotación opuesto al que se establece en los dos lóbulos los más próximos. Por otra parte, el vigor de los chorros de colada 7 y 7' que se encuentran entonces sistemáticamente reforzado por el flujo central 10a que remonta a la misma corriente, los bucles de recirculación L5 y L6 en la lingotera hacia el menisco 8 van a verse reforzados a su vez. Por consecuencia, el modo "doble bucle" L5, L1, L4 y L6 presente en el seno de la lingotera se encuentra así por añadidura estabilizado.

De este modo, se comprende fácilmente que todo elemento de metal líquido (que se aislará por el pensamiento en un lugar arbitrario de la altura metalúrgica) tendrá una probabilidad elevada de encontrarse, de modo ficticio aleatorio de corrientes ascendentes o descendentes sucesivas, al menos una vez en lingotera antes de volver a descender si se encuentra inicialmente en la zona del enfriamiento secundario y recíprocamente si se elige inicialmente en lingotera, entendiéndose que globalmente se verá sometido necesariamente a un desplazamiento medio hacia abajo en la dirección de extracción con una velocidad media igual a la velocidad de colada. Dicho de otro modo, esta puesta en práctica de la invención maximiza el intercambio de materia metálica en fusión entre las zonas calientes de la lingotera y aquellas más frías del secundario y esto reforzando en la lingotera los medios conocidos propios a estabilizar el modo "doble bucle".

Tal intercambio contribuye principalmente a una mejor evacuación del sobrecalentamiento así como al advenimiento de una solidificación del metal de tipo equiaxial precoz y amplio, sin riesgo de perturbar el modo de flujo en la lingotera, por el contrario reforzando la estabilidad de la simetría "izquierda-derecha" de los movimientos de una parte y otra de la buza, y esto cualquiera que sea el modo local presente: "doble bucle" cf. Fig. 5-, o "simple bucle" -cf. Fig. 6- por lo tanto en contracorriente la tendencia aleatoria natural de transición de un modo hacia el otro.

Como ya se ha dicho, las ramas 10 y 11 de la cruz de remoción 9 se generan por la acción aplicada en estos sitios de campos magnéticos deslizantes. Las líneas de fuerza de estos son ortogonales a la superficie del producto colado, o al menos presentan un componente principal ortogonal para maximizar el acoplamiento electromagnético con el metal líquido.

Es bien conocido que tales campos pueden producirse fácilmente por inductores lineales polifásicos clásicos.

La figura 7a ilustra una primera puesta en práctica de la invención según la que dos inductores lineales idénticos 12 y 13 se sitúan horizontalmente al mismo nivel en altura sobre la máquina de colada (inductores colineales) a una y otra parte del eje de colada y se montan en oposición de manera a crear campos magnéticos colineales deslizantes transversalmente según la anchura del producto colado, de las caras pequeñas 18, 18' hacia el centro. Estos inductores se dimensionan ventajosamente de manera a generar cada campo

uno un magnético deslizante, según una rama activa de convección (11a u 11b), de longitud igual a un poco menos de la mitad de la semi-anchura del lingote colado 6.

En este caso, la fuerza motriz de remoción viene dada por las ramas transversales convergentes 11a, 11b de la cruz de remoción, y los flujos defluentes longitudinales 10a, 10b, se obtienen entonces después del paso del punto de confluencia P.

La figura 7b ilustra una segunda puesta en práctica, equivalente a la precedente en cuanto a los efectos obtenidos. Según esta segunda variante, los inductores lineales colineales 14 y 15 montados en oposición se disponen verticalmente, sobre el eje de colada. De esta manera, se activan esta vez directamente las ramas longitudinales 10a y 10b (cuya presencia en el seno del secundario está en la base misma de la invención), generando el inductor superior 14 entonces un campo magnético que se desliza hacia lo alto de la máquina de colada en dirección a la lingotera, produciendo el inductor inferior 15 un campo que se desliza hacia el bajo en dirección al fondo del pozo.

La figura 8 ilustra un modo de realización preferido de la invención. Consiste en transformar el borde superior de los lóbulos de recirculación superiores L1 y L4 que vienen a reforzar los chorros de colada 7 y 7' en zonas de convección activa. Para ello, se adjunta a la pareja de inductores ya presentes en el enfriamiento secundario para crear la cruz de remoción 9, dos inductores lineales suplementarios 16, 17 de campos deslizantes horizontales dispuestos colinealmente a una y otra parte de la buza 4 a nivel de los chorros de metal 7 y 7' que salen de los orificios 5 y 5' y que se deslizan en la misma corriente con dichos chorros, de la buza hacia las pequeñas paredes 3, 3' de la lingotera 1. El efecto de convergencia entre los chorros y el flujo central que remonta desde el bajo se encuentra así todavía reforzado y consecuentemente, el régimen local de tipo "doble bucle" en la lingotera igualmente.

La figura 9, análoga a la figura 5, se distingue sin embargo de manera esencial por el hecho de que los sentidos de circulación del metal en cada una de las cuatro ramas de la cruz 9 están invertidas. Esta figura 9 ilustra así la segunda variante principal de puesta en práctica de la invención que consiste en crear corrientes colineales antagonistas longitudinales 20a, 20b en la parte media del producto colado 6 que esta vez convergen uno hacia el otro en dirección del punto P de manera a procurar una circulación del conjunto del metal líquido que se extiende en la lingotera 1 por corrientes que remontan a lo largo de las caras pequeñas 18, 18' hasta el nivel de los chorros de metal 7, 7' derivados de los orificios de salida 5, 5' de la buza con las que se oponen en contracorriente para frenarlos.

Se encuentra globalmente una configuración de remoción en el secundario de cuatro lóbulos L1 a L4, y cuyos bucles giran por lo tanto en sentido contrario con respecto a la primera variante. Sin embargo, en razón del efecto antagonista de los lóbulos superiores L1 y L4 sobre los chorros 7 y 7', las corrientes de retorno del metal hacia el bajo en la parte central del pozo líquido están menos canalizados y confinados, pero mucho más difusos y dispersos en la sección del producto que en dicha primera variante.

Se comprende que estas dos variantes principales no son en realidad más que dos facetas diferentes y complementarias de la misma invención y que pueden estar presentes conjuntamente durante la puesta

en práctica del procedimiento de remoción. Será fácil en efecto modificar en dinámica los sentidos de deslizamiento de los campos magnéticos que actúan, por ejemplo invirtiendo las polaridades de los inductores que los producen, de manera a poder a petición frenar o acelerar las corrientes de los chorros de colada 7, 7' a partir de una acción de remoción localizada en el secundario lejos de estos chorros.

Se ve por lo tanto que un interés determinante de la invención es asegurar un buen intercambio alto/bajo en el pozo líquido a la vez que se puede actuar a distancia sobre los chorros de colada en la lingotera, y esto con ayuda de un montaje simple y rústico de un equipamiento de remoción electromagnético cuyos componentes están ampliamente disponibles en el comercio.

Como se habrá bien entendido, la invención consiste en resumen, a utilizar con juicio los medios de remoción electromagnética actualmente disponibles para realizar en el secundario un desacoplamiento en el sentido largo del producto en dos hebras yuxtapuestas y, en cada hebra, a instalar una configuración de remoción de tipo alas de mariposa. Actuando así, se crea un sistema de flujo del conjunto en el secundario de cuatro lóbulos cuyo corazón es la cruz de remoción 9 con su centro P.

Preferentemente, por razones evidentes de simetría, este reparto en dos hebras se hará en la mitad de anchura del producto colado, es decir según el eje longitudinal de este, ya que el eje se confunde generalmente con el eje de colada.

Dicho esto, bastará desequilibrar las fuerzas de remoción entre las dos ramas transversales 11a, 11b, por ejemplo vía una regulación diferenciada de las intensidades de las corrientes eléctricas que alimentan los inductores 12, 13 para desplazar lateralmente la posición media del centro P hacia una cara pequeña 5 o hacia la otra 5' y así obtener sobre los movimientos en la lingotera un efecto más selectivo de un lado de la buza que del otro.

Igualmente, un desequilibrio análogo sobre las ramas longitudinales 10a, 10b permitirá, con un equipamiento de remoción dado, un desplazamiento hacia lo alto o hacia lo bajo del centro P de la cruz de remoción sin tener que modificar el emplazamiento de este equipamiento sobre la máquina de colada.

Cierto, si se quiere poder intervenir conjuntamente sobre estas dos posibilidades de regulación de la posición del centro P de la cruz de remoción, habrá que dotar el secundario de un equipamiento de cuatro inductores de manera a poder activar electromagnéticamente cada una de las cuatro ramas 10a, 10b, 11a y 11b.

Cualquiera que sea su modo de puesta en práctica, la invención procura una remoción del conjunto del metal sobre la altura metalúrgica apta para asegurar una homogeneidad tanto térmica como química entre el alto y el bajo del pozo líquido sin por ello privarse de los efectos beneficiosos propios de las remociones en la lingotera y en el enfriamiento secundario respectivamente, y sin perturbar, véase al estabilizar, el modo de flujo local en la lingotera.

Ni que decir tiene que la invención no se limita a los ejemplos descritos anteriormente, sino que se extiende a múltiples variantes o equivalentes en la medida en la que se respeta su definición dada en las reivindicaciones que siguen.

Así, por ejemplo, si los inductores lineales a utili-

zar tienen clásicamente una estructura plana, esta disposición no es más que preferencial. Pueden convenir igualmente, inductores de forma curva para esposar

en lo mejor la forma de la superficie del lingote allí donde están situadas sobre la altura metalúrgica.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de remoción electromagnética en la zona de enfriamiento secundario de una instalación de colada continua de productos metálicos de sección recta alargada cuya la lingotera está dotada de una buza de colada sumergida con orificios de salida laterales dirigidos hacia las caras pequeñas, procedimiento de remoción llevado a cabo con ayuda de campos magnéticos deslizantes generados por inductores polifásicos dispuestos en la proximidad del metal colado, **caracterizado** porque, con el objetivo de favorecer los intercambios de metal líquido en el seno del pozo de solidificación (6) entre la zona del enfriamiento secundario (2) y la lingotera (1), se fuerza en dicha zona del enfriamiento secundario el establecimiento de un flujo metálico longitudinal localizado en la región media del producto colado según dos corrientes colineales antagonistas (10a, 10b o 20a, 20b) y que procura una circulación del conjunto del metal líquido en figura de “trébol de cuatro hojas” que tiene dos lóbulos superiores y dos lóbulos inferiores, y por lo tanto los lóbulos superiores (L1, L4) se extienden en la lingotera hasta el nivel de los chorros (7, 7') derivados de los orificios de salida (5, 5') de la buza de colada sumergida (4).

2. Procedimiento de remoción según la reivindicación 1, **caracterizado** porque se crean dichas corrientes colineales antagonistas longitudinales (10a, 10b) en la parte media del producto colado que se alejan la una de la otra, de manera que dichos dos lóbulos superiores (L1, L4) que se extienden en la lingotera hasta el nivel de los chorros (7, 7') derivados de los orificios de salida (5, 5') de la buza de colada se confunden con ellos en la misma corriente para reforzarlos.

3. Procedimiento de remoción según la reivindicación 1, **caracterizado** porque se crean dichas corrientes colineales antagonistas longitudinales (20a, 20b) en la parte media del producto colado que convergen el uno hacia el otro de manera que los dos lóbulos superiores (L1, L4) que se extienden en la lingotera hasta el nivel de los chorros (7, 7') derivados de los orificios de salida (5, 5') de la buza de colada se

superponen a ellos en contracorriente para frenarlos.

4. Procedimiento de remoción según la reivindicación 1, **caracterizado** porque se desplaza lateralmente la localización del flujo longitudinal medio en el secundario hacia una u otra de las caras pequeñas del producto colado.

5. Procedimiento de remoción según la reivindicación 2 ó 3, **caracterizado** porque se crea el flujo metálico longitudinal en la región media del producto colado según dos corrientes colineales antagonistas con ayuda de campos magnéticos móviles colineales que deslizan longitudinalmente en dicha región media, bien al acercarse uno del otro, bien al alejarse.

6. Procedimiento de remoción según la reivindicación 2 ó 3, **caracterizado** porque se crea el flujo metálico longitudinal en la región media del producto colado según dos corrientes colineales antagonistas con ayuda de campos magnéticos móviles colineales que deslizan transversalmente según la anchura del producto colado, bien al acercarse uno del otro del borde hacia el centro del producto colado, bien al alejarse uno del otro del centro hacia el borde del producto colado.

7. Procedimiento de remoción según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque se generan los campos magnéticos deslizantes con ayuda de inductores lineales polifásicos que se disponen en frente las caras grandes del producto colado.

8. Procedimiento según la reivindicación 7, **caracterizado** porque se alimentan los inductores con corrientes eléctricas de intensidades diferentes.

9. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque se utilizan además campos magnéticos móviles-deslizantes que actúan directamente en la lingotera (1) sobre los chorros de metal (7, 7') que salen de los orificios (5, 5') de la buza (4).

10. Producto metálico de sección recta alargada derivado de una instalación de colada continua cuya zona del enfriamiento secundario es el sitio de una operación de remoción electromagnética conforme al definido en la reivindicación 1.

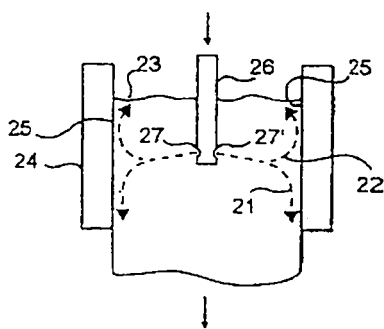


Fig. 1
(técnica anterior)

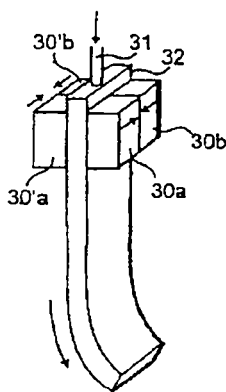


Fig. 2a
(técnica anterior)

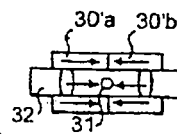


Fig. 2b₁

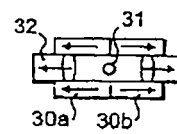


Fig. 2b₂

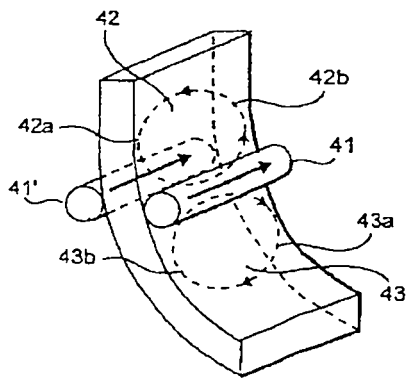


Fig. 3
(técnica anterior)

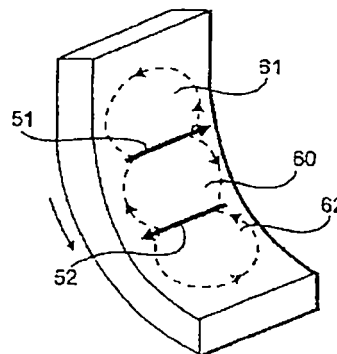


Fig. 4
(técnica anterior)

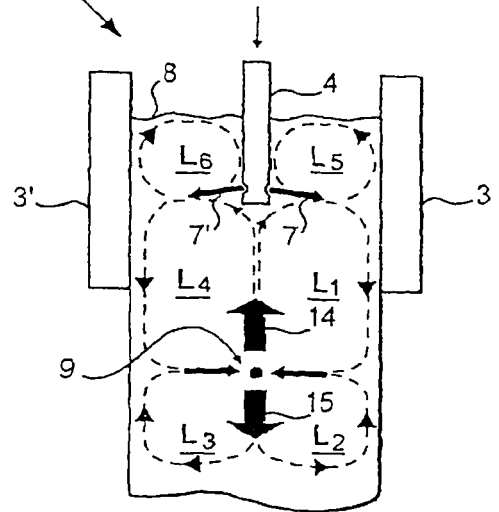
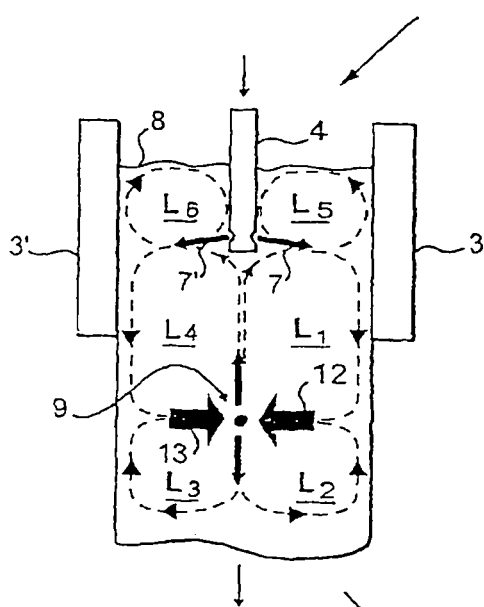
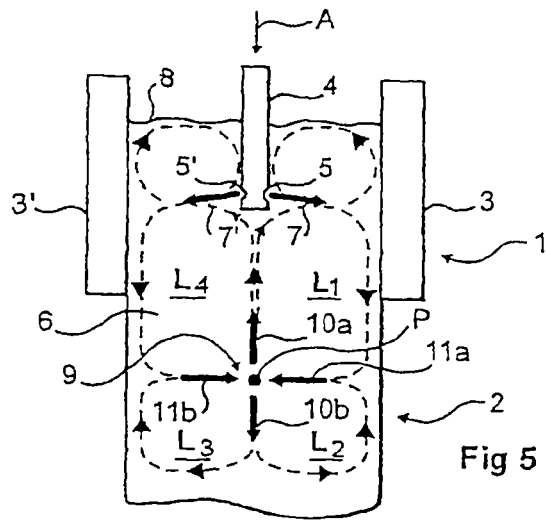


Fig 7a

Fig 7b

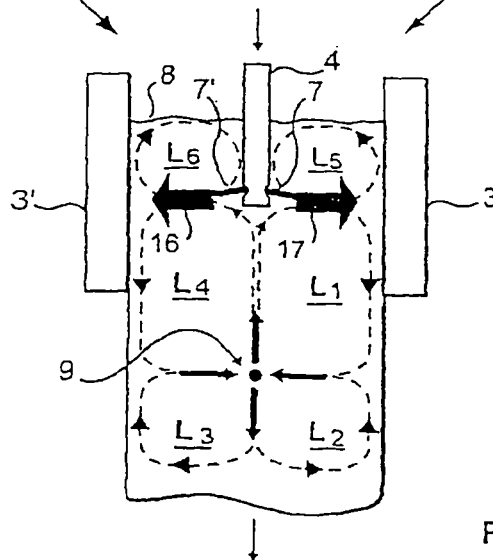


Fig 8

