



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 305 030**

(51) Int. Cl.:

B22D 11/10 (2006.01)

B22D 41/60 (2006.01)

B22D 41/50 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Número de solicitud europea: **01272322 .7**

(86) Fecha de presentación : **25.12.2001**

(87) Número de publicación de la solicitud: **1348503**

(87) Fecha de publicación de la solicitud: **01.10.2003**

(54) Título: **Método de colada continua que utiliza un dispositivo de alimentación de acero fundido.**

(30) Prioridad: **25.12.2000 JP 2000-392252**
11.06.2001 JP 2001-175722
15.08.2001 JP 2001-246524

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.11.2008

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.11.2008

(73) Titular/es: **SUMITOMO METAL INDUSTRIES, Ltd.**
5-33, Kitahama 4-chome
Chuo-ku, Osaka-shi, Osaka 541-0041, JP

(72) Inventor/es: **Kato, Toru;**
Nishida, Norihiro;
Hara, Masashi;
Kawamoto, Masayuki y
Murakami, Toshihiko

(74) Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 305 030 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 que utiliza un dispositivo de alimentación de acero fundido.

5 El presente invento se refiere a un método de colada continua para suministrar acero fundido, que es útil para prevenir el atasco de la boquilla de inmersión y para reducir los defectos superficiales del planchón.

10 Como un método para producir continuamente un planchón, es normalmente conocido un método de colada continua, en el que el acero fundido almacenado en una artesa se alimenta a una parte superior de un molde a través de una boquilla de inmersión instalada en la parte inferior de la artesa para formar una camisa solidificada en el molde, y luego se produce continuamente el planchón mediante la extracción de la camisa solidificada de un fondo del molde.

15 Cuando el acero fundido, que se desoxida con aluminio (Al), se cuela continuamente, el óxido de Al contenido en el acero fundido tiende a depositarse en la superficie interior de la boquilla de inmersión, y por tanto se dificulta que el acero fundido fluya en la boquilla de inmersión. Por tanto, cuando la colada se realiza usando una boquilla de inmersión que tenga más de un conducto, no se puede obtener un flujo simétrico del acero fundido en el molde. De hecho, cuando un flujo en derivación llega a ser tan intenso, un flujo de fluido en el molde tiende a convertirse en un flujo asimétrico. De acuerdo con ello, cuando se genera esta clase de flujo asimétrico, un fundente de molde sobre un menisco del acero fundido contenido en el molde está sujeto a entraparse en el acero fundido, y/o el óxido de Al
20 o compuesto similar, depositado a la superficie inferior de la boquilla de inmersión, se separa rápidamente y luego tiende a ser atrapado en el acero fundido.

25 El fundente de molde y el óxido de Al o materiales similares atrapados en el acero fundido son atrapados por la camisa solidificada en el molde, por lo que es probable que se produzcan defectos superficiales de planchón tales como defectos de polvo y/o puntos de escoria. Los defectos producidos en la superficie del planchón causan defectos superficiales en los productos finales, cuando el planchón que tiene defectos superficiales se lamina en caliente.

30 Cuando aumenta la cantidad de óxido de aluminio depositado en la superficie interior de la boquilla de inmersión, tiene lugar el denominado "atasco" de boquilla, por lo que dificulta la continuación de la colada. La limpieza con oxígeno gaseoso de la superficie interior de la boquilla de inmersión podría resolver el problema del atasco de boquilla. Sin embargo, con esta operación se deteriora una limpieza del acero.

35 Es conocido (documento titulado "Tetsu To Hagane", volumen 66, S868, Instituto del Hierro y el Acero de Japón) un método para purgar con un gas inerte en el interior de acero fundido que atraviesa una boquilla de inmersión para evitar el atasco de la boquilla, y recientemente se han propuesto diversos métodos para evitar el atasco de boquilla, que son aplicables a la colada. Por ejemplo, un método para purgar con un gas inerte en el interior de acero fundido que pasa a través de una boquilla de inmersión se ha propuesto en la Solicitud de Patente Japonesa abierta a inspección pública N° H4-319055, en cuyo caso, la cantidad litros normales por minuto (en adelante NI/min) del gas inerte a soplar en el acero fundido se ajusta de acuerdo con el caudal de salida (t/min) del acero fundido que pasa por la
40 boquilla de inmersión.

Además, en la Solicitud de Patente Japonesa abierta a inspección pública N° H6-182513, se describe un método para purgar con un gas inerte en acero fundido, en el que una corriente alterna o continua se suministra entre un material refractario poroso para purgar con gas sobre una pared interior de una boquilla de inmersión y el acero fundido que
45 pasa a través de la boquilla de inmersión. En este método, el depósito de óxido de aluminio o un material similar sobre la superficie interior de la boquilla de inmersión se previene mediante la purga con gas inerte en el acero fundido. Al mismo tiempo, mediante el suministro de una corriente eléctrica entre la pared interior de la boquilla de inmersión y el acero fundido, la fuerza electromagnética resultante aplicada al acero fundido da lugar a que las burbujas del gas inerte purgado se extraigan del material refractario para el gas purgante, y de ese modo reduzcan el tamaño de las burbujas
50 del gas generadas. Como resultado, el tamaño de las burbujas de gas, que han sido atrapadas por la camisa solidificada en el molde, se reduce, permitiendo de ese modo que los defectos debidos a la presencia de burbujas en el planchón estorben en la superficie de los productos, que se fabriquen por laminación en caliente del planchón.

55 Sin embargo, en los métodos propuestos en estas memorias descriptivas, se ha averiguado que una disminución en la cantidad del gas inerte purgado para prevenir que las burbujas de gas queden atrapadas por la camisa solidificada hace difícil prevenir que el óxido de aluminio o material similar contenido en el acero fundido se depositen sobre la superficie interior de la boquilla de inmersión. Por el contrario, la supresión del depósito de óxido de aluminio o material similar contenidos en el acero fundido proporciona un aumento en la cantidad de gas purgado. De ese modo, las burbujas del gas inerte son atrapadas en mayor grado por la camisa solidificada, por lo que en los productos finales
60 se genera un número mayor de defectos superficiales.

Por tanto, en estos métodos convencionales, es imposible prevenir con seguridad el depósito de óxido de aluminio o material similar contenidos en el acero fundido sobre la superficie interior de la boquilla de inmersión. Además, aún en el caso de que se impida de forma satisfactoria el depósito de óxido de aluminio o material similar contenidos en el
65 acero fundido sobre la superficie interior de la boquilla de inmersión, en la superficie del planchón se generan defectos debidos a las burbujas de gas, lo que resulta de ese modo en la generación de defectos superficiales en los productos finales. Desde este punto de vista, es conveniente proveer un método seguro y eficaz para prevenir que el óxido de aluminio o material similar contenidos en el acero fundido se depositen sobre la superficie interior de una boquilla de inmersión.

ES 2 305 030 T3

De acuerdo con lo anterior, el objeto del presente invento es proveer un método para suministrar acero fundido, que previene de un modo eficaz que el óxido de aluminio o material similar contenidos en acero fundido se depositen sobre la superficie interior de una boquilla de inmersión, permitiendo que de ese modo se impida la generación de los defectos superficiales del planchón debidos al fundente del molde, al óxido de aluminio o a materiales similares, y al mismo tiempo dando lugar a que se impida de un modo eficaz la aparición de defectos superficiales de los productos fabricados a partir de planchón.

Para lograr el objeto mencionado, el presente invento se concentró en la capilaridad eléctrica y luego desarrolló un método para prevenir que el óxido de aluminio o materiales similares contenidos en el acero fundido se depositen sobre la superficie interior de una boquilla de inmersión mediante la utilización de la capilaridad eléctrica. La capilaridad eléctrica descrita en la presente memoria implica un fenómeno en el que la tensión interfacial entre una solución iónica y un electrodo sumergido en ella se puede variar mediante el potencial aplicado al electrodo. En el presente invento se ha investigado minuciosamente el fenómeno y se ha tenido éxito en la averiguación de las siguientes características [1] a [7]:

[1] Una boquilla de inmersión de un aparato para colada continua está constituida por un material refractario que presenta una conductividad eléctrica no inferior a 1×10^5 Siemens/metro (en adelante S/m) a temperatura elevada. Como resultado, la aplicación de un potencial entre el acero fundido y el material refractario que tenga conductividad eléctrica y opcionalmente conductividad iónica a una temperatura elevada durante la colada continua provee la capilaridad eléctrica sobre la superficie interfacial entre los mismos. Esto reduce la tensión interfacial, por lo que se reduce la fuerza de deposición del óxido de aluminio o materiales similares sobre la superficie del material refractario, dificultando así el depósito de óxido de aluminio o materiales similares sobre la superficie de material refractario.

[2] Basándose en la hipótesis anterior, se llevó a cabo un experimento en el que, empleando un crisol de laboratorio, un electrodo y una varilla de material refractario, ambos con una buena conductividad eléctrica, se sumergieron en acero fundido, y se aplicó un potencial entre la varilla de material refractario y el electrodo mediante la alimentación de una corriente eléctrica entre los mismos. En este experimento, se averiguó que la acumulación del óxido de aluminio o materiales similares contenidos en el acero fundido sobre la superficie interior del material refractario se reducía, aún en el caso de un potencial bajo, y que, con independencia de la polaridad del potencial aplicado, un aumento en el valor absoluto del potencial reducía de forma correspondiente la acumulación del óxido de aluminio o materiales similares sobre la superficie del material refractario.

[3] Sobre la base de los resultados experimentales anteriores, se investigó un método para prevenir que el óxido de aluminio o materiales similares contenidos en el acero inoxidable se depositasen sobre la superficie interior de una boquilla de inmersión. Con el fin de suministrar de un modo más eficaz una corriente entre el material refractario que tuviese una buena conductividad eléctrica y el acero fundido que pasase a través de la boquilla de inmersión, se estudió el efecto del aislamiento eléctrico entre electrodos por pares. El material refractario usado para el aislamiento eléctrico normalmente proporciona un resultado satisfactorio, si tiene una resistividad eléctrica (resistencia específica) no inferior a $1 \times 10^5 \Omega \cdot m$ a temperatura ambiente. Sin embargo, a una temperatura tan alta como la del acero fundido, el material refractario presenta mayor conductividad iónica, reduciendo de ese modo enormemente la resistividad eléctrica y deteriorando el aislamiento eléctrico.

[4] Cuando el aislamiento eléctrico entre el par de electrodos se reduce debido a la característica anteriormente citada [3], no puede pasar suficiente corriente eléctrica a través de la corriente de acero fundido dentro de la boquilla de inmersión, y por tanto circulan corrientes parciales en los circuitos cortos a materiales distintos del acero fundido, haciendo imposible prevenir que el material como el óxido de aluminio o materiales similares se depositen sobre la superficie interior de la boquilla de inmersión. Esto aporta no sólo un desperdicio de la energía eléctrica aplicada, sino también un riesgo de generar finas descargas debidas a las corrientes parciales que se fugan al exterior, así como tanto la recepción de un choque eléctrico como la presencia de fallos de funcionamiento de los instrumentos circundantes.

[5] Cuando una artesa se precalienta o cuando una artesa se recicla en caliente sin precalentamiento, mediante la pre-configuración de la resistencia eléctrica inicial entre el par de electrodos en un valor no menor de 500Ω justo antes de que el acero fundido se vierta en la artesa, puede circular una intensidad de corriente suficiente en el acero fundido que atraviesa la boquilla de inmersión durante todo el período de la colada desde el principio hasta el final de la misma, y haciendo posible prevenir que las corrientes circulen en los circuitos cortos a los materiales distintos del acero fundido. El término anteriormente mencionado “durante el período desde el principio hasta el final de la colada” es generalmente de 60 a 500 minutos, dependiendo del tipo de la máquina de colada continua, del tamaño del planchón, de la velocidad de colada, del número de hornadas en la colada continua, etc.

[6] Es preferible que la resistencia eléctrica en el período transcurrido desde el principio hasta el final de la colada, cuya resistencia se calcula a partir de los valores de la intensidad de corriente y de la tensión entre el par de electrodos, sea menor de $1/10$ de la resistencia eléctrica inicial entre un primer electrodo y el otro electrodo, que es el valor de la resistencia, o bien en el final del precalentamiento antes de que se vierta el acero fundido en la artesa, o bien antes de que el acero fundido se vierta a la artesa si la artesa que se usó una vez para la colada se ha reciclado sin precalentamiento.

[7] Dicho de otro modo, la característica [6] implica que la resistencia eléctrica calculada por la intensidad y tensión entre el par de electrodos en el circuito eléctrico constituido por la corriente de acero fundido dentro de la

boquilla de inmersión aumenta en el transcurso de la colada. Si la resistencia eléctrica durante la colada aumenta más después de terminar el aumento gradual, no puede pasar suficiente intensidad de corriente eléctrica a través de la corriente de acero fundido dentro de la boquilla de inmersión, y por tanto las corrientes parciales empiezan a circular a los circuitos cortos constituidos por los materiales distintos del acero fundido. Mediante el control de la resistencia eléctrica en el transcurso de la colada hasta el final de la misma de tal manera que se pueda configurar a menos de 1/10 de la resistencia eléctrica inicial entre un primer electrodo y el otro electrodo justo antes de que el acero fundido se vierta a la artesa, la corriente eléctrica puede pasar suficientemente a través de la corriente de acero fundido dentro de la boquilla de inmersión, haciendo posible de ese modo suprimir las intensidades de corriente parciales a los circuitos cortos constituidos por los materiales distintos al acero fundido.

De acuerdo con ello, el presente invento se completa sobre la base de las características anteriormente mencionadas y se caracteriza por un método de colada continua definido por la reivindicación 1.

En el aparato para el suministro de acero fundido usado en el presente método, el material refractario tiene una conductividad de no menos de 1×10^3 S/m en el punto de fusión del acero, y opcionalmente comprende alúmina con grafito. Además, en el aparato de suministro de acero fundido usado en el presente método, es preferible que se interponga un elemento aislante entre un primer electrodo y el otro electrodo. Asimismo, se ha provisto una parte de purga de gas en uno de entre la boquilla superior y el mecanismo de control de caudal que no tenga electrodo.

En el método de colada continua, la resistencia eléctrica entre electrodos se ajusta preferiblemente a un valor no inferior a 500 Ω , bien al final del precalentamiento de la artesa antes de verter el acero fundido a la misma, o bien antes de que el acero fundido se vierta a la artesa si la misma artesa que se ha usado una vez para la colada se ha reciclado para colar sin precalentamiento.

En el método de colada continua anteriormente mencionado, es preferible que la resistencia eléctrica calculada a partir de la intensidad de corriente y de la tensión aplicadas entre los electrodos durante un período transcurrido desde el comienzo y hasta el final de la colada se ajuste a un valor no inferior a 1/10 de la resistencia eléctrica entre los electrodos, bien al final del precalentamiento de la artesa antes de que se vierta el acero fundido a la artesa, o bien antes de que se vierta el acero fundido a la artesa si la misma artesa que se ha usado una vez para la colada se recicla para colar sin precalentamiento.

En el método de colada continua antes mencionado, es preferible que se suministre una corriente eléctrica a una densidad de corriente no inferior a 0,001 A/cm² y menor de 0,3 A/cm² y/o que la tensión aplicada no sea menor de 0,5 V ni mayor de 100 V.

De acuerdo con el presente invento, el material para producir la boquilla de inmersión y elementos similares se selecciona de materiales refractarios que tengan una buena conductividad eléctrica a una temperatura que no sea menor que el punto de fusión del acero. Ello se debe a la necesidad de que la corriente eléctrica circule entre el material refractario y el acero fundido. En la descripción que sigue, la expresión “un material que tenga una buena conductividad eléctrica a una temperatura no inferior que el punto de fusión del acero” se abreviará a veces por la expresión “un material que tenga una buena conductividad eléctrica”.

La expresión “al final del precalentamiento de la artesa antes de que el acero fundido se vierta en la artesa”, que se ha definido en las anteriores disposiciones estructurales (4) y (5) de acuerdo con el presente invento, significa lo siguiente:

Los materiales refractarios contenidos en la artesa, así como los materiales refractarios incluidos en la boquilla superior, la puerta para controlar la cantidad del acero fundido a suministrar al molde, la boquilla de inmersión y los elementos análogos, se precalientan normalmente mediante el gas de la combustión, antes de comenzar la colada continua mediante el vertido del acero fundido a la artesa. Esto se debe al hecho de que los materiales refractarios podrían dañarse por un choque térmico en el caso de verter el acero fundido en la artesa y el molde, y a que el acero fundido suministrado inicialmente se solidifica sobre el material refractario, y debe evitarse dicho daño indeseable. En este caso, la temperatura de la superficie de estos materiales refractarios al final del precalentamiento debería ser típicamente de 800 a 1.300°C. Sin embargo, la temperatura objetivo en la superficie de los materiales refractarios después del precalentamiento depende de las condiciones de trabajo de la colada, tales como la capacidad de la artesa, el tiempo transcurrido entre el comienzo del suministro del acero fundido a la artesa y el comienzo del suministro del acero fundido al molde, y de otras condiciones.

El circuito eléctrico entre el par de electrodos al final del precalentamiento en el estado de que el acero fundido todavía no se ha vertido a la artesa incluye los materiales refractarios dispuestos en la artesa, los materiales refractarios que constituyen la boquilla superior, la compuerta de colada y la boquilla de inmersión, y una estructura de acero para soportar estos materiales refractarios. La resistencia eléctrica de los materiales refractarios y de la estructura de acero normalmente disminuye al aumentar la temperatura.

De la explicación anterior, la expresión “la resistencia eléctrica entre los electrodos al final del precalentamiento” implica una resistencia eléctrica entre un primer electrodo y el otro electrodo en un circuito eléctrico, que podría estar constituido por elementos refractarios en una artesa calentada a una temperatura objetivo de superficie, elementos re-

fractarios tales como una boquilla superior, una compuerta para colada y una boquilla de inmersión, y una construcción de acero para soportar estos materiales refractarios, de tal manera que implica la resistencia eléctrica minimizada justo antes de comenzar a suministrar el acero fundido a la artesa. En la descripción que sigue, a esta resistencia eléctrica se le designará a veces por “una resistencia eléctrica inicial”.

Similarmente, la expresión “la resistencia eléctrica entre los electrodos antes de suministrar el acero fundido a la artesa cuando la artesa que se ha usado una vez para la colada se recicla para colar sin precalentamiento”, implica los hechos siguientes:

En años recientes, desde el punto de vista de reducir el coste de la energía, se ha empleado el denominado reciclado en caliente de la artesa, en el que la artesa se recicla sin enfriarla. En este caso, se pueden aplicar dos métodos: en uno, la artesa se precalienta, y en el otro método, se suministra nuevo acero fundido a la artesa sin precalentamiento. En el caso de que no exista precalentamiento, la temperatura superficial de los materiales refractarios en la artesa es de 1.000 a 1.400°C. La resistencia eléctrica antes mencionada significa la resistencia eléctrica entre un primer electrodo y el otro electrodo en un circuito eléctrico que está constituido por los materiales refractarios antes mencionados y la estructura de acero a una temperatura tan elevada, y por tanto significa la resistencia eléctrica justo antes de que el acero fundido se vierta a la artesa. En otras palabras, significa la resistencia eléctrica inicial.

La expresión “la resistencia eléctrica que se calcula mediante la intensidad de corriente y la tensión entre electrodos durante el intervalo de tiempo transcurrido desde el comienzo hasta el final de la colada” definida en la anterior disposición estructural (5) de acuerdo con el presente invento, significa una resistencia eléctrica entre un primer electrodo y el otro electrodo en un circuito eléctrico del acero fundido suministrado a la artesa. Dicha resistencia eléctrica en el circuito eléctrico del acero fundido aumenta al aumentar el tiempo de colada. De ahora en adelante, esta resistencia eléctrica se denominará en algunos casos “resistencia eléctrica durante la colada”.

La Figura 1 es una vista en corte longitudinal que muestra esquemáticamente una realización de un aparato para suministrar acero fundido de acuerdo con el presente invento.

La Figura 2 es una vista en corte longitudinal de otra realización de una boquilla de inmersión, estando empotrado el otro electrodo en la boquilla de inmersión.

La Figura 3 es una vista en planta de otra realización de una boquilla de inmersión, estando fijado el otro electrodo a la superficie exterior de la boquilla de inmersión.

La Figura 4 es una vista en planta de otra realización de una boquilla de inmersión, estando fijado el otro electrodo a la superficie exterior de la boquilla de inmersión.

La Figura 5 es un diagrama que muestra la variación de la resistencia eléctrica entre un primer electrodo y otro electrodo durante la colada.

La Figura 6 es un diagrama que muestra la influencia de la resistencia eléctrica entre un primer electrodo y el otro electrodo tras la aparición de defectos superficiales de los productos laminados en frío.

La Figura 7 es un diagrama que muestra la relación entre el espesor de un estrato de óxido de aluminio o material similar depositado sobre la superficie interior de una boquilla de inmersión y una tensión aplicada entre un primer electrodo y el otro electrodo.

A continuación se describe el método de colada continua de acuerdo con el presente invento en cuanto a los siguientes puntos: la disposición estructural del aparato, los materiales refractarios que tienen una buena conductividad eléctrica, la implementación del aislamiento eléctrico, la purga con gas, la aplicación de una intensidad de corriente y una tensión, y un potencial negativo aplicado a una boquilla de inmersión.

1. La disposición estructural del aparato

Refiriéndose ahora a las Figuras 1 a 4, a continuación se describe la disposición estructural de un aparato para suministrar acero fundido de acuerdo con el método del presente invento. La Figura 1 es una vista en corte longitudinal que muestra esquemáticamente una realización del aparato para suministrar acero fundido de acuerdo con el presente invento. En la Figura 1, se muestra una compuerta del tipo corredera de tres estratos como para un mecanismo de control de caudal de acero fundido. Sin embargo, el presente invento no se limita a la compuerta corredera de este tipo. Por ejemplo, se puede emplear una puerta del tipo corredera de doble estrato y/o un mecanismo de control de caudal que use un tapón.

En la Figura 1, el aparato para suministrar acero fundido comprende una artesa 1 que tiene una boquilla superior 2 en su fondo, una compuerta corredera 3 dispuesta debajo de la boquilla superior 2, una boquilla de inmersión 4 conectada a la puerta corredera 3, un primer electrodo 5 dispuesto en la pared lateral de la artesa 1, el otro electrodo 6 dispuesto en la boquilla de inmersión 4 y una fuente de alimentación de energía eléctrica 7 conectada a los dos

ES 2 305 030 T3

electrodos 5 y 6. La forma de la artesa 1 para recibir el acero fundido 8 y el revestimiento interior fabricado de un material refractario no son para un uso especial, sino los que se usan convencionalmente.

La boquilla superior 2 dispuesta en el fondo de la artesa 1 se ha fabricado de un material refractario, y tiene un orificio 2a de salida para suministrar el acero fundido 8 almacenado en la artesa 1 hacia abajo. La compuerta corredera tiene una estructura de tres estratos que comprende una placa superior 31, una placa inferior 32 y una placa móvil 33 dispuesta entre las mismas. La placa superior 31, la placa inferior 32 y la placa móvil 33 se han construido de un material refractario y cada una tiene un orificio 31a, 32a ó 33a. El caudal del acero fundido 8 suministrado hacia abajo se puede controlar mediante un desplazamiento horizontal de la placa móvil 33 activado por un mecanismo de accionamiento (que no se ha mostrado).

La boquilla de inmersión 4 está dotada de dos lumbreras 4a de salida en su posición inferior, y una parte de la boquilla de inmersión 4 donde están incluidas las lumbreras 4 de salida, se puede insertar en un molde 9. La forma de la boquilla de inmersión no se limita a la mostrada en la Figura 1. Por ejemplo, es posible emplear una boquilla de inmersión que tenga más de dos lumbreras 4a de salida, o escalones de diferentes diámetros interiores en su superficie interior en la dirección axial, o una placa de ajuste de caudal alineada en la dirección axial sobre su superficie interior, o salientes helicoidales sobre su superficie interior, o una estructura doble que provea una boquilla interior en su parte superior.

El primer electrodo 5 está dispuesto de tal manera que perfora la pared lateral de la artesa 1 y uno de sus extremos llega al espacio interior de la artesa 1. Cuando el acero fundido 8 se suministra al interior de la artesa 1, un extremo del primer electrodo 5 se sumerge preferiblemente en el acero fundido 8 en el estado de operación. En este caso, es preferible que el área de superficie del primer electrodo 5, que entra en contacto con el acero fundido 8, no sea menor de 10 cm².

Se requiere que el material que forma el primer electrodo 5 tenga una buena conductividad eléctrica y una gran durabilidad en el estado en que se encuentre en contacto con el acero fundido en la artesa 1. De acuerdo con ello, el material se puede seleccionar de materiales refractarios, grafito, acero, un metal de alto punto de fusión, tal como molibdeno, tungsteno o un metal similar, o un material compuesto de los mismos.

La instalación del primer electrodo 5 se puede llevar a cabo de acuerdo con uno de los métodos siguientes, como se muestra en la Figura 1. En un método, se practica un taladro interior en las camisas de hierro de la pared lateral de la artesa y en un material refractario de la misma, y luego se inserta el electrodo en la camisa de hierro y en el material refractario. Cuando, además, se emplea un tapón como un mecanismo de control de caudal para verter en el molde el acero fundido, el tapón está constituido por un material refractario que tenga una buena conductividad eléctrica y luego se puede usar el propio tapón como un electrodo 5.

Alternativamente, se pueden usar como un electrodo 5 la boquilla superior o la compuerta corredera constituidos por un material refractario que tenga una buena conductividad eléctrica. Cada uno de estos electrodos podría aportar un efecto similar, de tal manera que la selección de un electrodo se puede llevar a cabo desde el punto de vista del coste de fabricación y de la sencillez de funcionamiento. Sin embargo, si el electrodo 5 se instala en el molde, ocasionalmente una corriente eléctrica circula a través de la superficie exterior de la boquilla de inmersión, haciendo así difícil impedir que el óxido de aluminio o material similar se depositen en la superficie interior de la boquilla de inmersión. De acuerdo con ello, el primer electrodo 5 no se debería instalar en el molde.

Como el otro electrodo 6 no está en contacto directo con el acero fundido 8, se puede usar como un material refractario para el otro electrodo 6 un metal que tenga una propiedad de resistencia al calor hasta aproximadamente 1.200°C, o un material, tal como TiB₂, ZrB₂, SiC, grafito o similar. Un metal, tal como acero al carbono, acero inoxidable, Ni o metal similar, tiene mejor conductividad eléctrica, comparada con la de los materiales refractarios antes mencionados. Sin embargo, tienden a reaccionar con el carbono contenido en la boquilla de inmersión, y entonces en ocasiones se transforma en un material de bajo punto de fusión, planteando de ese modo un problema de disipación de material debido a la disolución. Por tanto, el electrodo constituido por el material refractario se emplea preferiblemente cuando se vaya a aplicar al mismo una carga térmica intensa.

El otro electrodo 6 tiene que estar en contacto con una parte de un elemento constituido por un material refractario que tiene una buena conductividad eléctrica. El otro electrodo 6 mostrado en la Figura 1 tiene una forma cilíndrica y está empotrado en el material refractario de la boquilla de inmersión 4, y está intercalado entre el extremo superior de la boquilla de inmersión y un nivel un poco por encima del nivel de menisco en el molde 9. Es preferible que el otro electrodo 6 se disponga mirando a la totalidad de la superficie interior de la boquilla de inmersión 4. Sin embargo, si el otro electrodo 6 se instala por debajo del nivel de menisco de la boquilla de inmersión 4, existe un posible riesgo de que el material del otro electrodo 6 se funda según el material seleccionado. Por ello, normalmente se emplea una disposición como la que se ha mostrado en la Figura 1.

Cuando se emplea la forma cilíndrica y la disposición antes mencionada para el otro electrodo 6, el otro electrodo 6 se aproxima al acero fundido 8 pasando a través de la superficie inferior de la boquilla de inmersión 4 sobre casi toda el área de la boquilla de inmersión 4 con una distancia sustancialmente la misma entre ellos en la colada continua. Esta disposición estructural permite suprimir la caída parcial de tensión en el espacio, cuando la corriente eléctrica pasa a través del material refractario que forma la boquilla de inmersión 4.

De acuerdo con el presente invento, la forma y disposición del otro electrodo 6 no se limitan a las que se han mostrado en la Figura 1. Se pueden emplear también la forma y disposición mostradas en las Figuras 2 a 4. Junto con este hecho, se puede usar el mismo material refractario que para el primer electrodo 5 para el material del otro electrodo 6.

La Figura 2 es una vista en corte longitudinal de otra realización, en cuyo caso, el otro electrodo 6 está empotrado en la boquilla de inmersión 4. En la Figura 2, el otro electrodo 6a es una pieza de forma de varilla construida de un material refractario conductor y está empotrado en una pequeña zona de la boquilla de inmersión 4 desde la superficie exterior de la misma. El empotramiento se puede realizar mecanizando un orificio en la boquilla de inmersión 4, o bien cuando o bien después que se fabrique por el método de sinterización con prensa.

Siempre que se use como un material refractario un material que tenga una conductividad eléctrica mayor, que entra en contacto con el acero fundido, el electrodo que tenga una estructura tan sencilla no proporciona una corriente eléctrica local y se puede hacer funcionar eficazmente sobre un intervalo más amplio. En cuanto a la forma del electrodo 6a, es conveniente que una parte de extremo del mismo sea paralela al eje de la boquilla de inmersión 4 y pueda empotrarse en la boquilla de inmersión 4.

La Figura 3 es una vista en planta de otra realización de una boquilla de inmersión, en la que el otro electrodo 6 está fijado sobre la superficie exterior de la boquilla. En la Figura 3, el otro electrodo 6 comprende un elemento de forma de hilo o de varilla y está enrollado alrededor de la superficie exterior de la boquilla de inmersión 4. Normalmente, la superficie exterior de la boquilla de inmersión 4 está recubierta por un antioxidante. Como el antioxidante tiene una propiedad de aislante eléctrico, el antioxidante recubierto se tiene que quitar, cuando el otro electrodo 6b se enrolla alrededor de la boquilla de inmersión 4.

La Figura 4 es también una vista en planta de otra realización de una boquilla de inmersión, en la que el otro electrodo 6 está fijado sobre la superficie exterior de la boquilla. En la Figura 4, el otro electrodo 6c comprende un elemento metálico anular, que está dotado de medios de abrazadera en una parte abierta del mismo. Los medios de abrazadera se sujetan por pernos y tuercas después que el otro electrodo 6c se ha fijado en la superficie exterior de la boquilla de inmersión 4. En este caso, se ha quitado también el recubrimiento de antioxidante en la superficie exterior de la boquilla de inmersión.

La fuente de alimentación 7 está conectada con un electrodo 5 y con el otro electrodo 6 del par de electrodos por medio de hilos conductores 7a, y en el caso de funcionamiento se suministra energía eléctrica a los electrodos 5 y 6.

En el aparato para suministrar acero fundido mostrado en la Figura 1, la boquilla de inmersión 4 está constituida por un material refractario que tiene una buena conductividad eléctrica, y la boquilla superior 2 y la compuerta corredera 3, cuyas superficies interiores están en contacto con el acero fundido, pueden estar constituidas por un material refractario que tenga una buena conductividad eléctrica. Sin embargo, en relación con el elemento sobre el que está fijado el otro electrodo 6, es decir, en cuanto a la boquilla de inmersión 4 de la Figura 1, la superficie interior, con la que entra en contacto el acero fundido, tiene que estar formada por el material refractario que tenga una buena conductividad eléctrica.

En el aparato para suministrar acero fundido que se muestra en la Figura 1, el otro electrodo 6 está fijado sobre la boquilla de inmersión 4. Esto se debe al hecho de que el óxido de aluminio o los materiales similares se depositan con más frecuencia sobre la superficie interior de la boquilla de inmersión durante la colada continua, y por tanto debería suministrarse una corriente eléctrica entre el acero fundido que pasa a través de la boquilla de inmersión y la superficie interior de la boquilla de inmersión 4.

Cuando la boquilla de inmersión 4 está constituida por el material refractario que tiene buena conductividad eléctrica, la totalidad de las partes de la boquilla de inmersión 4 pueden formarse de un material refractario con buena conductividad eléctrica. Además, la boquilla de inmersión 4 se puede formar empleando más de una estructura de estratos radiales dobles en la que el estrato exterior esté constituido por un material que tenga una elevada resistencia mecánica y el estrato interior que está en contacto con el acero fundido esté constituido por un material refractario con buena conductividad eléctrica. Más aún, una parte del estrato interior o del estrato exterior puede estar constituida por un material tal como alúmina de gran pureza o un material similar que tenga una conductividad eléctrica menor.

El otro electrodo 6 está fijado sobre la boquilla de inmersión 4. Dicha disposición estructural se emplea para suministrar una corriente eléctrica entre la superficie interior de la boquilla de inmersión 4 y el acero fundido durante la colada continua, dado que el óxido de aluminio o los materiales similares depositados sobre la superficie interior de la boquilla de inmersión 4 influyen en la estabilidad de funcionamiento en la colada continua y en la calidad de los productos finales.

2. Material refractario que tenga buena conductividad eléctrica

En cuanto al material refractario que tenga una buena conductividad eléctrica, el material utilizado tiene una conductividad eléctrica de no menos de 1×10^3 S/m, y con más preferencia, de 1×10^4 a 1×10^6 a una temperatura no inferior al punto de fusión del acero fundido almacenado en la artesa. En general, el material refractario con una buena conductividad eléctrica se puede seleccionar a partir de materiales que incluyan grafito tales como óxido de aluminio

ES 2 305 030 T3

(alúmina) con grafito, óxido de circonio con grafito, óxido de magnesio con grafito o un material similar como un componente principal, materiales de un electrolito sólido, materiales de un sistema de boruro, tales como TiB_2 , ZrB_2 o similares. A continuación se describen las propiedades de los respectivos materiales:

5

Material refractario de alúmina con grafito

Es preferible que el material refractario de alúmina con grafito, que se usa frecuentemente en la boquilla de inmersión, contenga desde un 5 a un 35% en peso de grafito. Un porcentaje no inferior al 5% en peso de grafito proporciona una buena conductividad eléctrica sobre un amplio intervalo desde la temperatura ambiente hasta una temperatura a la que se funde el acero. Con más preferencia, un porcentaje no inferior al 12% en peso de grafito proporciona una conductividad eléctrica no inferior a 1×10^4 S/m.

10

Sin embargo, un porcentaje superior al 35% en peso de grafito deteriora la resistencia mecánica del refractario y la resistencia a la corrosión contra el acero fundido, por lo que se plantea un problema de erosión. Aún en el caso de que el material refractario de alúmina con grafito contenga SiO_2 en una concentración del 20% en peso o así, no se plantea problema alguno en el suministro de corriente al mismo. El SiO_2 usualmente tiene una ventaja de reducir el coeficiente de dilatación térmica del material refractario de alúmina con grafito e impedir el daño debido a un choque térmico. En conjunción con lo anterior, se puede usar SiC, en lugar de SiO_2 .

20

Material refractario de óxido de circonio con grafito

En el caso del material refractario de óxido de circonio con grafito, es preferible que el grafito se incluya en una concentración del 5 al 20% en peso. El grafito en una concentración no inferior al 5% en peso proporciona una buena conductividad eléctrica sobre un amplio intervalo desde la temperatura ambiente hasta la temperatura a la que se funde el acero. Con más preferencia, un porcentaje superior a aproximadamente un 10% en peso de grafito provee una conductividad eléctrica no inferior a 1×10^4 S/m. Sin embargo, la concentración de grafito de más de un 20% en peso plantea un problema en el sentido de que se reduce la resistencia mecánica. Nótese que el límite superior de la concentración de grafito en el material refractario de óxido de circonio con grafito es menor que el del material refractario de alúmina con grafito. Esto se debe al hecho de que la densidad del óxido de circonio es mayor que la de la alúmina, proporcionando de ese modo una variación mayor en la densidad del propio material refractario, en el que está incluido el grafito que tiene una densidad menor.

35

Material refractario de electrolito sólido

Es éste el material refractario de electrolito sólido, por ejemplo, electrolito sólido de óxido de circonio en el que no está incluido el grafito. Dicho electrolito sólido tiene una buena conductividad eléctrica a una temperatura a la que se funde un acero. Sin embargo, la conductividad eléctrica es aproximadamente 1×10^2 S/m en el punto de fusión del acero, y por tanto no es suficientemente elevada. El uso de esta clase de material plantea un problema en el sentido de que circula una corriente eléctrica en un circuito corto y se producen corrientes parciales locales, haciendo de ese modo difícil prevenir que la alúmina o los materiales similares se depositen sobre el mismo sobre un área amplia.

45

Para superar este problema, es necesario empotrar el otro electrodo 6 que tiene una forma cilíndrica en la boquilla de inmersión 4, como se muestra en la Figura 1, con el fin de pasar a través de la misma densidad de corriente sobre una área espacial amplia. Desde este punto de vista, en el presente invento debería usarse el material refractario que tenga una conductividad eléctrica no inferior a 1×10^2 S/m. Además, es difícil aplicar el electrolito sólido al proceso de circular el acero fundido después de precalentado, como se hace en la colada continua del acero fundido, puesto que el electrolito sólido tiene una capacidad inferior en cuanto a su resistencia contra un choque térmico. Nótese además que el uso de este tipo de material proporciona un aumento en el coste de fabricación del material refractario.

50

Material refractario de un sistema de boruro

55

Por ejemplo, el TiB_2 ó el ZrB_2 tienen una conductividad eléctrica no inferior a 1×10^5 S/m, por lo que se puede emplear como un material refractario para suministrar una corriente al acero.

60

Según se ha expuesto anteriormente, se pueden emplear el material refractario que incluya grafito como un componente principal o el material refractario de un sistema de boruro. Sin embargo, la fabricación de esta clase de material refractario de un sistema de boruro es cara, por lo que resulta difícil construir una estructura grande con el material refractario. Como resultado, el material refractario de un sistema de boruro se puede usar exclusivamente en sólo una parte de un canal para la circulación del acero fundido.

65

En resumen, el material refractario que se usa preferiblemente en el presente invento, es el que incluye grafito como un componente principal. Cuando se tengan en cuenta totalmente la capacidad de resistencia al calor, la resistencia mecánica, la resistencia a la erosión y el coste de fabricación es preferible que se use el material refractario de alúmina con grafito.

3. Implementación del aislamiento

En el aparato para suministrar acero fundido de acuerdo con el presente invento, es preferible que se interponga un elemento aislante entre un electrodo 5 y un elemento sobre el que está fijado el otro electrodo 6, cuyo elemento es la boquilla de inmersión 4, que está formada por un material refractario que tiene una buena conductividad eléctrica.

En el aparato para suministrar acero fundido mostrado en la Figura 1, un electrodo 5 está instalado en la artesa 1 y el otro electrodo 6 está instalado en la boquilla de inmersión 4. En este caso, es preferible que el elemento aislante se interponga, o bien entre la artesa 1 y el primer electrodo 5, o bien entre la artesa 1 y la boquilla superior 2, o entre la boquilla superior 2 y la compuerta corredera 3, o entre la puerta corredera 3 y la boquilla de inmersión 4.

Este tratamiento hace posible suprimir la formación de circuitos cortos entre el electrodo 5 y la boquilla de inmersión 4 en la que está instalado el otro electrodo, cuando se suministra una corriente eléctrica. En este caso, si otro elemento aislante se interpone además entre la boquilla de inmersión 4 en la que está instalado el otro electrodo 6 y la compuerta corredera 3 adyacente al mismo, se puede suprimir además la corriente de fugas a la compuerta corredera 3, permitiendo de ese modo que se suministre eficazmente la corriente al acero fundido.

Con relación al grado de aislamiento en este caso, la resistencia eléctrica inicial entre el primer electrodo 5 y el otro electrodo 6 en la artesa se ajusta a más de 500 Ω , bien en el momento en que se termina el precalentamiento antes de que el acero fundido se descargue a la artesa, o bien en el momento antes de que el acero fundido se descargue a la artesa cuando ésta, que se ha usado una vez para la colada, se recicla sin precalentamiento. Si la resistencia eléctrica inicial es menor de 500 Ω , no hay corriente suficiente para enviarla al acero fundido que pasa a través de la boquilla de inmersión 4 durante la colada, y la corriente circula en un circuito corto a elementos distintos que el acero fundido, haciendo de ese modo imposible prevenir eficazmente el depósito de óxido de aluminio o un material similar sobre la superficie interior de la boquilla de inmersión.

En un aspecto de la implementación del aislamiento, será útil interponer un material refractario que tenga una baja conductividad eléctrica, bien entre la artesa 1 y el primer electrodo 5, o entre la boquilla superior 2 y el material refractario de la artesa 1 y/o la estructura de acero de la artesa, o entre la compuerta corredera 3 y la estructura de acero de la artesa 1. Además, se puede insertar también una lámina aislante que comprenda fibras de vidrio entre los elementos antes mencionados. Es útil además interponer una lámina aislante entre cada dos de entre la boquilla superior 2, la compuerta corredera 3 y la boquilla de inmersión 4, y entre cada uno de estos elementos y el correspondiente elemento de soporte, y entre estratos adyacentes en el caso de la estructura de doble estrato.

Más específicamente, en el caso en el que el otro electrodo 6 está instalado en la boquilla de inmersión 4 como un material refractario que tenga una buena conductividad eléctrica, y se suministre una corriente eléctrica entre la boquilla de inmersión y el acero fundido que pasa a través del interior de la boquilla de inmersión, es preferible que, o bien [1] entre la artesa 1 y el primer electrodo 5, o bien [2] entre la boquilla de inmersión y la compuerta 3 que está en contacto con la boquilla de inmersión, y entre la boquilla de inmersión y un soporte para soportar la boquilla de inmersión sobre la compuerta corredera, o ambos elementos de los puntos [1] y [2] se aíslan eléctricamente entre sí. En esta disposición estructural, la boquilla de inmersión 4 y el cuerpo principal de la artesa 1, cuyo cuerpo principal comprende el revestimiento interior de material refractario y la estructura de acero, se pueden aislar también eléctricamente entre sí.

El material mineral utilizado para aislamiento generalmente tiene una resistencia eléctrica no inferior a $1 \times 10^5 \Omega \cdot m$ a temperatura ambiente, proporcionando de ese modo una capacidad de aislamiento suficiente. Sin embargo, la conductividad iónica tiene lugar en la mayoría de los materiales minerales a una temperatura tan elevada como la del acero fundido, por lo que la resistencia eléctrica disminuye. Por tanto, como un material refractario que presente una cantidad muy pequeña de reducción en la resistencia eléctrica aún a una temperatura tan alta como la del acero fundido, por ejemplo, se puede emplear o bien una lámina aislante que comprenda fibras de tal material refractario aislante, como Al_2O_3 , SiO_2 o un producto similar, o bien un material de recubrimiento que incluya Al_2O_3 , SiO_2 o un producto similar.

En una utilización real de dicha lámina aislante y/o dicho material de recubrimiento, la lámina aislante se inserta y luego se fija o bien entre la boquilla de inmersión y la compuerta en contacto con la misma, o entre la boquilla de inmersión y el soporte que sirve para soportar la boquilla de inmersión sobre la compuerta corredera, estando en contacto el soporte con la boquilla de inmersión, para formar una estructura tipo "sándwich". En este caso, el espesor de la lámina es preferiblemente de 1 a 4 mm. Además, es más preferible depositar el material de recubrimiento sobre las partes aislantes junto con un adhesivo. En este caso, el espesor del recubrimiento es preferiblemente de 0,2 a 1,0 mm, y para el adhesivo se pueden usar un material de alúmina, un material de sílice o un material similar.

El límite superior de la resistencia eléctrica inicial es idealmente infinito. Sin embargo, tiende a ser $1 \times 10^8 \Omega$ en un aparato para suministrar acero fundido desde una artesa a un molde en una máquina real de colada continua.

En el método de colada continua de acuerdo con el invento, es preferible que la resistencia eléctrica que se calcule a partir de los valores de la intensidad de corriente y de la tensión entre el primer electrodo 5 y el otro electrodo 6 durante el período que transcurre desde el comienzo hasta el final de la colada sea menor que 1/10 de la resistencia eléctrica inicial entre un primer electrodo y el otro electrodo en la artesa, o bien al final del precalentamiento de la

ES 2 305 030 T3

artesa antes de suministrar el acero fundido, o en el instante antes de suministrar acero fundido a la artesa en el caso de que ésta se recicle sin precalentamiento. A continuación se expone el motivo de este argumento.

La Figura 5 es un diagrama que muestra la variación en la resistencia eléctrica entre un electrodo y el otro electrodo durante la colada. En el diagrama, la variación se ejemplifica en el caso de la resistencia eléctrica inicial de 0,7 Ω . Aunque la resistencia presenta poca variación durante un período de colada, es decir, un período determinado de suministro de corriente, la resistencia del circuito, en el que circula una corriente eléctrica en el acero fundido que pasa a través del interior de la boquilla de inmersión, normalmente aumenta. Esto se supone debido al hecho de que la superficie del material refractario que tiene una buena conductividad eléctrica y está instalado en la boquilla de inmersión, cuya superficie está en contacto con el acero fundido, cambia de calidad a medida que pasa el tiempo y/o los materiales no conductores, tales como alúmina o materiales similares, se depositan en la superficie.

Cuando, durante la colada, la resistencia eléctrica llega a ser no inferior a 1/10 de la resistencia eléctrica inicial, la corriente no puede circular adecuadamente en el acero fundido que pasa a través del interior de la boquilla de inmersión, y circulan corrientes parciales en circuitos cortos de materiales distintos al acero fundido, haciendo de ese modo imposible impedir que el óxido de aluminio o materiales similares se depositen en la superficie interior de la boquilla de inmersión. Cuando, además, la resistencia eléctrica en la colada aumenta hasta una cantidad de más de 1/10 de la resistencia eléctrica inicial, no solamente tiene lugar un desperdicio de la energía eléctrica aplicada, sino que también ocurre un riesgo de pequeñas descargas debidas a las fugas de corriente al exterior porque las corrientes parciales circulan en circuitos cortos de los materiales distintos al acero fundido. En este caso, se producen perturbaciones tales como recibir un choque eléctrico y/o causar un fallo de funcionamiento de los instrumentos circundantes.

La Figura 6 es un diagrama que muestra la influencia de la resistencia eléctrica entre un primer electrodo y el otro electrodo sobre los defectos superficiales de un producto laminado en frío. El eje transversal indica la resistencia eléctrica inicial entre un primer electrodo y el otro electrodo justo antes del comienzo de la colada, y el eje longitudinal indica la relación entre la resistencia eléctrica durante la colada y la resistencia eléctrica inicial cuando aquélla se calcula a partir de los valores de intensidad de corriente y de tensión entre un primer electrodo y el otro electrodo durante la última fase de la colada.

Se laminó en caliente un planchón para formar un fleje de acero que tenía 5 mm de espesor. A continuación, el fleje de acero se decapó y finalmente se laminó en frío hasta formar un fleje de acero con 0,8 mm de espesor. Se inspeccionó si existían o no defectos superficiales de los productos finales y, en el caso de existir, el estado de los defectos superficiales generados. Se determinó el porcentaje de generación de los defectos superficiales en un producto final en la expresión en porcentaje mediante la relación entre la longitud total acumulada de las partes y la longitud del fleje de acero inicial, en donde las partes incluían defectos superficiales y por tanto se eliminaron del fleje de acero original en cuyo caso, los defectos superficiales resultaban de defectos tales como polvo del molde, óxido de aluminio o de material similar en el planchón. En el diagrama, la marca O indica un valor para los productos finales que no incluye defectos superficiales resultantes de defectos tales como polvo del molde, óxido de aluminio o de un material similar sobre la superficie del planchón.

En la Figura 6, la marca Δ indica un valor para los productos finales, que incluye unos pocos defectos superficiales dentro del porcentaje antes mencionado de generación de defectos fuese un 0,5%, y la marca $\blacktriangle$ indica un valor para los productos, que incluyen los defectos superficiales dentro de un porcentaje anteriormente mencionado de generación de defectos que fuese un 1,0%. Nótese que no existen problemas graves en el caso de los defectos estén incluidos dentro del porcentaje de generación de defectos del 1,0%. En el dibujo, además, la marca X indica un valor para los productos finales que tengan los defectos superficiales con el porcentaje de generación de defectos que fuese más del 5%. El dibujo muestra los resultados experimentales obtenidos para las diversas resistencia eléctricas iniciales por el cambio de implementación del aislamiento eléctrico.

A partir de los resultados de la Figura 6, se puede reconocer que la resistencia eléctrica inicial no inferior a 500 Ω podría suprimir la generación de los defectos superficiales de los productos finales. Además, si la resistencia eléctrica que se calcula a partir de los valores de intensidad de corriente y de tensión entre un primer electrodo y el otro electrodo en la última fase de la colada es menor de 1/10 de la resistencia eléctrica inicial, se pueden obtener productos finales con mejor calidad superficial. Aunque el límite inferior de la relación entre la resistencia eléctrica durante la colada y la resistencia eléctrica inicial debería ser cero en condiciones ideales, tiende a ser 0,00001/10 en un aparato real para suministrar el acero fundido desde la artesa al molde.

4. Purga con gas

Una parte de purga con gas constituida por un material refractario poroso (que no se ha mostrado) se instala en una o más de entre una de la boquilla superior 2 y compuerta corredera 3. La parte de purga con gas se puede usar del modo siguiente:

Cuando el acero fundido incluye gran cantidad de óxido de aluminio o de un material similar de acuerdo con el estado de operación de un convertidor, un RH o similar, se purga con un gas inerte en el interior de la boquilla de inmersión con el fin de prevenir el depósito de óxido de aluminio sobre la superficie interior de la misma. Además, con el fin de evitar la molestia en el conducto de la boquilla de inmersión resultante de la solidificación del acero

ES 2 305 030 T3

fundido al comienzo de la operación de colada, o para perfeccionar la corriente de acero fundido en el molde, se purga también en el interior de la misma con dicho gas inerte.

En este caso, el otro electrodo 6 está instalado en la boquilla de inmersión 4, y la parte (o partes) de purga con gas se puede (o se pueden) disponer en uno o dos de los elementos en los que no está dispuesto el otro electrodo 6. En esta disposición estructural, tanto el otro electrodo 6 como la parte de purga con gas no están dispuestos en un elemento, haciendo de ese modo posible una reducción en la resistencia mecánica de los materiales refractarios.

En el aparato para suministrar acero fundido mostrado en la Figura 1, el electrodo 5 está dispuesto de tal manera que un extremo del mismo pasa a través de la pared lateral de la artesa 1 y llega a los espacios interiores de la artesa 1. Sin embargo, el electrodo 5 se puede disponer de tal manera que el extremo del mismo no pase a través de la pared lateral de la artesa 1, sino que llegue al espacio interior de la artesa 1 desde la parte de arriba de la misma. Por lo demás, una parte de la pared lateral de la artesa 1 está formada por un material refractario que tiene una buena conductividad eléctrica, y esta parte se puede usar como el primer electrodo 5.

En otra realización, la boquilla superior 2 o la compuerta corredera 3 están constituidas por un material refractario que tiene una buena conductividad eléctrica, y el primer electrodo 5 se puede disponer en la boquilla superior 2 o en la compuerta corredera 3. Cuando el primer electrodo 5 está dispuesto en la boquilla superior 2, la boquilla de inmersión 4 está constituida por un material refractario que tiene una buena conductividad eléctrica, y el otro electrodo 6 está instalado en la misma.

Cuando un electrodo 5 está instalado en la compuerta corredera 3, la boquilla de inmersión 4 está constituida por un material refractario que tiene una buena conductividad eléctrica, y el otro electrodo 6 está instalado en el interior de la misma. En estos casos, se puede interponer un elemento aislante entre la boquilla superior 2 y la artesa 1 con el fin de prevenir que la corriente eléctrica circule al interior de la artesa 1.

5. Aplicación de la intensidad de corriente y la tensión

En el método para llevar a cabo la colada continua, que emplea el aparato para suministrar acero fundido mostrado en la Figura 1, el aparato para suministrar acero fundido está dispuesto encima del molde 9, y el acero fundido contenido en la artesa 1 se descarga al interior del molde a través de la boquilla superior 2, compuerta corredera 3 y boquilla de inmersión 4.

En este modo de operación, la fuente de alimentación de energía eléctrica está conectada. El primer electrodo 5 y el otro electrodo 6 están conectados a la fuente de alimentación a través de los hilos conductores 7a. En este caso, el primer electrodo 5 está sumergido en el acero fundido almacenado en la artesa 1 y el otro electrodo 6 está dispuesto en la boquilla de inmersión 4 constituida por el material refractario que tiene una buena conductividad eléctrica, permitiendo de ese modo que se suministre la corriente eléctrica entre la superficie interior de la boquilla de inmersión 4 y el acero fundido que pasa a través del interior de la boquilla de inmersión 4.

Se puede emplear una corriente continua (en adelante c.c) para la alimentación de corriente. En este caso, se aplica un potencial negativo a la boquilla de inmersión, y se permite para aplicar la corriente o bien una forma de onda de impulso o una forma de onda rectangular. Además, la corriente se puede alimentar de una forma continua o intermitente.

Cuando la corriente eléctrica se suministra entre la superficie interior de la boquilla de inmersión y el acero fundido que pasa a través del interior de la boquilla de inmersión de la manera anteriormente indicada, la tensión interfacial entre la superficie interior de la boquilla de inmersión y el acero fundido disminuye debido a la capilaridad eléctrica antes mencionada. Por esta razón, la fuerza adhesiva del óxido de aluminio o material similar del acero fundido a la superficie del material refractario disminuye, haciendo de ese modo difícil que el óxido de aluminio o material similar se adhieran sobre la superficie interior de la boquilla de inmersión 4.

Durante la alimentación de corriente, es preferible que la densidad de corriente sobre la superficie de la parte conductora fabricada del material refractario que tiene una buena conductividad eléctrica se pueda mantener de manera que esté entre 0,001 y 0,3 amperios/cm² (A/cm²). Sin embargo, en una densidad de corriente de más de 0,3 A/cm², el efecto se satura y el material refractario se calienta por medio de su resistencia. Cuando es necesario que circule una corriente eléctrica que tenga una elevada densidad de corriente sobre un área amplia, el aparato tal como la fuente de alimentación 7, los hilos conductores, etc., se hace muy grande, y por tanto es necesario suministrar una cantidad mayor de energía eléctrica. Por otra parte, el efecto de prevenir el depósito no se puede conseguir en una densidad de corriente de menos de 0,001 A/cm², y se puede obtener una condición más preferible de funcionamiento en una densidad de corriente de 0,01 a 0,1 A/cm².

La tensión aplicada entre el otro electrodo 6 y el primer electrodo 5 se puede determinar de acuerdo con la densidad de corriente antes mencionada, con la resistencia eléctrica del material refractario y con la resistencia eléctrica del material depositado en la superficie interior del material refractario, y se puede ajustar preferiblemente en 0,5 a 100 voltios (en adelante V). A una tensión aplicada de menos de 0,5 V, la corriente efectiva no puede circular debido a la resistencia del canal de circulación de la corriente, haciendo de ese modo difícil detectar la intensidad y tensión aplicadas. En el límite superior de la tensión aplicada, es decir, 100 V, se podría obtener una corriente requerida si se

puede preajustar adecuadamente la resistencia para el canal de circulación de la corriente. A una tensión aplicada de más de 100 V, tiene lugar un riesgo de recibir un choque eléctrico y el grado de riesgo aumenta al aumentar la tensión aplicada. De estos hechos se deduce que la tensión más preferible a aplicar está entre 1 y 60 V.

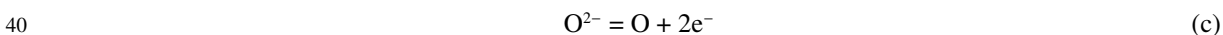
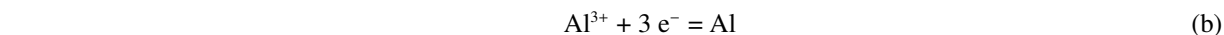
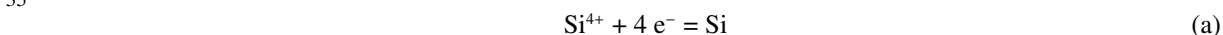
La Figura 7 es un diagrama que muestra la relación entre el espesor del material depositado, tal como óxido de aluminio o un material similar, sobre la superficie interior de la boquilla de inmersión 4, y la tensión aplicada entre el primer electrodo 5 y el otro electrodo 6, en cuyo caso la boquilla de inmersión 4 estaba constituida por un material refractario con una buena conductividad eléctrica y el otro electrodo 6 se había empotrado en la boquilla de inmersión 4, y luego se realizó la colada continua en las mismas condiciones que las del Ejemplo 1 que se describe más adelante. En la Figura 7, se ha usado la misma disposición estructural en relación con el canal de suministro de corriente y el área de contacto del material refractario con el acero fundido, y la intensidad de corriente y la densidad de corriente aumentan con la tensión.

Como puede verse en el diagrama, en el caso de que no circule argón (marca ● en el diagrama), el espesor del material depositado es de unos 13 mm a un potencial de 0 (cero), y disminuye hasta unos 8 mm. cuando el potencial se ajusta a +1 V ó -1 V. Además, cuando el potencial se ajusta para que sea +5 V ó -5 V, el espesor del material depositado disminuye más hasta ser aproximadamente 4 mm. El espesor del material depositado es menor en 5 mm que los obtenidos a un potencial de 0 en el caso de que circule argón a un caudal de 20 litros (NI)/min. (marca ○). Cuando el potencial se ajusta para que sea +20 V ó -20 V, el espesor del material depositado disminuye más hasta que es de 1 mm o así. Aunque en el diagrama no se puede apreciar una diferencia clara, se puede discernir que el espesor del material depositado sobre la superficie interior de la boquilla de inmersión 4 tiende a ser menor en un potencial negativo (-) aplicado a la boquilla de inmersión 4, comparado con el de un potencial positivo (+).

6. El potencial negativo en el lado de la boquilla de inmersión

Cuando se suministra una corriente eléctrica entre la boquilla de inmersión 4 y el acero fundido, y se aplica no un potencial positivo sino un potencial negativo a la boquilla de inmersión 4, entonces el espesor del material depositado en la superficie interior de la boquilla de inmersión 4 tiende a disminuir. Esto se debe a los hechos siguientes:

En las condiciones de suministro de la corriente, la conducción de electrones en el carbono juega un papel esencial en el material refractario, por ejemplo, alúmina con grafito, que incluye carbono. Sin embargo, en un óxido, tiene lugar la polarización. La variación anteriormente mencionada en la tensión interfacial resulta de la polarización, y las reacciones expresadas por las siguientes ecuaciones (a) hasta (c) tienen lugar en el óxido que constituye el material refractario:



Cuando se aplica un potencial negativo al material refractario que tiene una buena conductividad eléctrica, las reacciones de las ecuaciones (a) y (b) progresan en el sentido de la derecha, pero no tiene lugar la reacción de la ecuación (c). Como consecuencia, no se produce oxígeno como una fuente para generar la alúmina (óxido de aluminio), permitiendo de ese modo que se impida el depósito sobre la superficie interior de la boquilla.

Cuando se aplica un potencial negativo al material refractario que tenga una buena conductividad eléctrica y se suministra una corriente continua entre el material refractario y el acero fundido, se reduce la tensión interfacial y además se suprime la reacción expresada por la ecuación anterior (c), permitiendo de ese modo que se suprima el depósito del óxido de aluminio o material similar contenido en el acero fundido sobre la superficie del material refractario.

Cuando se aplica un potencial positivo al material refractario y se suministra al mismo una corriente continua, se aplica la ecuación anterior (c), incluso si se reduce la tensión interfacial. Por tanto, se debilita el efecto de impedir que el óxido de aluminio o material similar se depositen sobre la superficie del material refractario. Cuando se suministra una corriente alterna entre el material refractario conductor y el acero fundido, tiene lugar alternativamente la promoción y supresión de la reacción expresada por (c), con lo que se debilita el efecto de prevenir que el óxido de aluminio o material similar contenidos en el acero fundido se depositen sobre la superficie del material refractario. Como resultado, se aplica un potencial negativo (-) a la boquilla de inmersión y luego se suministra a la misma una corriente continua.

Según se ha expuesto anteriormente, la corriente eléctrica se suministra entre la superficie interior de la boquilla de inmersión 2 y el acero fundido 8 que pasa a través del interior de la misma, y en estas condiciones, el acero fundido 8 contenido en la artesa 1 se suministra al interior del molde 9. Además, con el fin de proporcionar el aislamiento térmico y de suprimir la oxidación, así como para obtener la lubricación de la camisa solidificada 10 con respecto al molde 8, se vierte polvo 11 de molde sobre el menisco del acero fundido contenido en el molde 9. El acero fundido 8 suministrado al interior del molde 9 se solidifica como una camisa 10 sobre la superficie del molde 9, y luego se extrae por medio de un aparato de extracción (que no se ha mostrado) para formar el planchón.

ES 2 305 030 T3

Cuando el acero fundido 8 atraviesa el interior de la boquilla de inmersión 4, se suministra una corriente eléctrica entre el acero fundido y la superficie interior de la boquilla de inmersión 4 y por tanto se crea una diferencia de potencial entre los mismos, con lo que el óxido de aluminio o material similar no se pueden depositar sobre la superficie interior de la boquilla de inmersión 4.

En el método de colada continua de acuerdo con el presente invento, es preferible que se use el miembro que suministra el acero fundido que tiene la parte de purga con gas en la boquilla superior 2 y se purgue con un gas inerte el interior del acero fundido que atraviesa la boquilla superior 2 de tal manera que no se generen sobre la superficie del planchón defectos superficiales debidos a las burbujas de gas que entren desde la boquilla superior. En el transcurso de la circulación del gas inerte hacia arriba en el acero fundido, las partículas de óxido contenidas en el acero fundido suben conjuntamente con las burbujas de gas a la superficie del acero fundido, y son capturadas por el fundente del acero fundido sobre el menisco del acero fundido, permitiendo de ese modo que las partículas se extraigan del acero fundido. Como resultado, se aumenta la limpieza del planchón y por tanto se pueden obtener productos finales limpios. En este caso, es preferible que el caudal del gas inerte con el que se va a purgar se ajuste para que sea de 2 a 10 litros (NI)/min según las dimensiones del planchón.

Como se ha descrito antes, el aparato para suministrar acero fundido es el más adecuado para usarlo en el método para la colada continua de acero calmado con Al.

Ejemplo 1

Mediante la utilización de una máquina de colada continua del tipo de flexión vertical, se produjeron planchones que tenían un espesor de 270 mm y una anchura de 1.600 mm a partir de aceros fundidos A y B que se desoxidaron con Al. En la Tabla 1 se da la composición química de los aceros fundidos.

TABLA 1

Tipo de acero	Composición química de acero fundido, siendo los residuos Fe e impurezas (unidad: % en peso)						
	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti
A	0,04-0,06	0,03-0,04	0,16-0,23	0,010-0,025	0,008-0,012	0,03-0,05	-
B	0,001-0,003	0,02-0,04	0,09-0,18	0,008-0,035	0,008-0,013	0,03-0,05	0,01-0,04

Se usó una máquina de colada continua del tipo de flexión vertical dotada de un aparato para suministrar acero fundido en la que dicho aparato comprendía una boquilla superior, una compuerta corredera y una boquilla de inmersión, estando constituida mas de una de entre las mismas por un material refractario que tenía una buena conductividad eléctrica, y el otro electrodo se empotró en el elemento antes citado constituido por el material refractario con buena conductividad eléctrica. En los ensayos, se instaló una parte de purga con gas en la boquilla superior o en la placa superior de la compuerta corredera, y se purgó con gas a un pequeño caudal de 3 a 5 NI/min para abrir la compuerta corredera en la etapa inicial de la colada. En este caudal, no se generaron picaduras en la superficie del planchón, y el gas apenas formó burbujas ascendentes en el acero fundido contenido en el molde, por lo que casi toda la cantidad del gas no permaneció en el acero fundido contenido en el molde, y se transfirió al acero fundido contenido en la artesa. Se usó una placa superior del tipo convencional de la compuerta corredera que no tenía electrodo. En varias fases de ensayos, se usó la placa superior que estaba formada por un material refractario con una buena conductividad eléctrica y a la que se conectó el otro electrodo. La artesa utilizada tenía forma de caja y su capacidad era de aproximadamente 85 t.

Se usaron la boquilla de inmersión que tenía un diámetro interior de 90 mm y dos lumbreras de salida dirigidas hacia abajo en un ángulo de inclinación de 35°. El elemento, en el que estaba empotrado el otro electrodo, se formó mediante un material refractario con una buena conductividad eléctrica, cuyo material comprendía una alúmina con grafito compuesta de un 22% en peso de grafito, un 12% en peso de SiO₂ y siendo el resto alúmina e impurezas.

Una lámina constituida por fibras de alúmina y sílice o por un material refractario fabricado de alúmina se interpuso entre un elemento en el que estaba empotrado el otro electrodo y un elemento adyacente al mismo, y de ese modo estos elementos quedaron aislados entre sí. El electrodo formado por alúmina con grafito se sumergió en el acero fundido de la artesa desde la superficie superior de la misma. El otro electrodo hecho de grafito o acero se situó en diversas ubicaciones.

En la colada continua se colaron en secuencia 6 hornadas, de 270 t cada una. En este caso, el grado de sobrecalentamiento para el acero fundido de la artesa era de 20 a 30°C y la velocidad de colada era de 1,5 a 1,8 m/min. Se suministró una corriente alterna o continua entre un electrodo y el otro electrodo, en cuyo caso el potencial aplicado era de 0 a 20 V, y la intensidad de corriente suministrada estaba en un intervalo de 0 a 120 A. La intensidad de corriente a y el área superficial b de la parte conductora sobre la superficie interior del material refractario, cuya parte conductora

ES 2 305 030 T3

estaba acoplada al otro electrodo y mirando al acero fundido, se variaron ambas de uno a otro ensayo, y se determinó la densidad de corriente (A/cm^2) definida por la siguiente ecuación (d):

$$\text{densidad de corriente } (A/cm^2) = a/b \quad (d)$$

donde

a es el valor de la intensidad (A) y

b es el área superficial de la parte conductora sobre la superficie interior del material refractario, mirando al acero fundido, que está acoplada al otro electrodo (cm^2).

En el caso de aplicar la corriente continua, se aplicó al otro electrodo un potencial positivo o negativo. En algunas pruebas de los ensayos, no se suministró corriente entre el primer electrodo y el otro electrodo. Estas condiciones de los ensayos se han enumerado en la Tabla 2.

Una vez completada la colada continua antes mencionada, se recogieron individualmente la boquilla superior, la compuerta corredera y la boquilla de inmersión, y luego se cortaron en la dirección longitudinal con el fin de determinar el espesor del material depositado sobre la superficie interior de las mismas. El espesor del material depositado sobre la superficie interior de la boquilla superior, compuerta corredera y boquilla de inmersión en los que estaba dispuesto el otro electrodo (o electrodos) se determinó por los procedimientos siguientes: se midieron los diámetros interiores del elemento antes mencionado en tres posiciones longitudinales diferentes y en dos posiciones circundantes, y se calculó un valor medio de los diámetros interiores así medidos. El espesor se determinó mediante la mitad de la diferencia entre el valor medio y el diámetro interior inicial antes de la colada.

El planchón producido se laminó en caliente para formar un fleje de acero con un espesor de 4 a 6 mm. El fleje de acero así formado se decapó y luego se laminó adicionalmente en frío hasta formar un fleje de acero con un espesor de 0,3 a 1,2 mm. Se inspeccionaron a simple vista los defectos superficiales. Se cortaron las partes en la que estaban incluidos defectos superficiales y se determinó la longitud acumulada total de las piezas cortadas. Luego, se determinó el porcentaje de los defectos superficiales dividiendo la longitud total por la longitud inicial del fleje de acero. Los resultados se han enumerado también en la Tabla 2. A partir de los resultados de la Tabla 2, se puede reconocer lo siguiente:

En el Ensayo N° 1, no se aplicó potencial y se purgó con gas Ar a un caudal muy pequeño de 5 NI/min para abrir la compuerta corredera en la etapa inicial de la colada, por lo que el espesor del material depositado sobre la superficie interior de la boquilla de inmersión era relativamente grueso, a saber, 31,4 mm y el porcentaje de los defectos superficiales era relativamente elevado, a saber, un 9,6%. En el Ensayo N° 2, no se aplicó potencial y se purgó con gas Ar a un caudal relativamente grande de 20 NI/min, con lo que el espesor del material depositado sobre la superficie interior de la boquilla de inmersión era de 5,4 mm, menor que en el caso del Ensayo N° 1, y el porcentaje de defectos superficiales era del 3,8%, y por tanto relativamente bajo.

En los Ensayos N° 3 a N° 8, se aplicaron unos potenciales de +2 V, +5 V, +20 V, -2 V, -5 V ó -20 V a la boquilla de inmersión en la que estaba empotrado el otro electrodo, y se suministró una corriente continua a la misma. El espesor del material depositado sobre la superficie interior del material refractario (boquilla de inmersión) y el porcentaje de defectos superficiales fueron menores que los del caso del Ensayo N° 1. Especialmente, en el potencial de +5 V, +20 V, -5 V y -20 V, el espesor del material depositado sobre la superficie interior del material refractario (boquilla de inmersión) y el porcentaje de defectos superficiales fueron ambos menores que los del caso del Ensayo N° 2.

En los Ensayos N° 9 y N° 10, se aplicó un potencial de +2 V ó -2 V a la boquilla de inmersión en la que estaba empotrado el otro electrodo, y se aplicó a la misma una corriente continua. Se purgó con gas argón a un caudal de 5 NI/min directamente al interior de la boquilla de inmersión. Comparado con el Ensayo N° 3 ó N° 6 en los que se emplearon las mismas condiciones excepto la purga con gas, es decir, no se suministró gas argón, el espesor del material depositado sobre la superficie interior del material refractario (boquilla de inmersión) era pequeño y el porcentaje de defectos superficiales era similar. Se produjo erosión en la parte de purga con gas. Esto se debe al hecho de que el material refractario de la boquilla se disolvió en el planchón por el suministro de corriente a la parte de purga con gas y porque el gas argón se introdujo en el acero fundido contenido en el molde puesto que el gas argón se purgó directamente al interior de la boquilla de inmersión.

En el Ensayo N° 11, se aplicó un potencial de 5 V a la boquilla de inmersión en la que estaba instalado el otro electrodo, y se suministró a la misma una corriente alterna. El espesor del material depositado sobre la superficie interior del material refractario (boquilla de inmersión) y el porcentaje de defectos superficiales fueron iguales que los de los Ensayos N° 4 y N° 7 en los que se aplicó el mismo potencial y se suministró la corriente continua.

ES 2 305 030 T3

TABLA 2

Ensayo N°	Tipo de acero	Posición empotrada del otro electrodo (*1)	Tensión aplicada (V)	Intensidad suministrada (A/cm ²)	Tipo de corriente	Purga con gas argón		Espesor del material depositado sobre la superficie interior de material refractario (mm)	Porcentaje de generación de defectos superficiales (%)
						Parte que suministra corriente	Boquilla superior (NI/min)		
1 (ж)	A	-	-	-	-	Sin boquilla	5	18,4 (boquilla)	9,6
2 (ж)	A	-	-	-	-	Sin boquilla	20	5,4 (boquilla)	3,8
3 (ж)	A	A	2	0,017	CC	No	5	6,2	2,3
4 (ж)	A	A	5	0,034	CC	No	5	4,3	1,4
5 (ж)	A	A	20	0,066	CC	No	5	1,2	0,4
6	A	A	-2	0,017	CC	No	5	5,7	1,6
7	A	A	-5	0,034	CC	No	5	3,6	0,7
8	A	A	-20	0,066	CC	No	5	0,9	0,2
9 (ж)	A	A	2	0,017	CC	Si	5	5,7	1,6
10	A	A	-2	0,017	CC	Si	5	5,7	1,6
11 (ж)	A	A	±5	0,034	CA	No	5	4,1	1,1
12 (ж)	A	B	2	0,049	CC	Si	5	(*2)-	(*2)-
13 (ж)	A	B	2	0,049	CC	No	5	6,2	2,2
14 (ж)	A	B	-5	0,122	CC	No	5	5,6	1,4
15 (ж)	A	C	-5	0,095	CC	No	5	4,5	1,4
16 (ж)	A	A + C	2	0,011	CC	No	5	5,6	2,1
17 (ж)	A	A + C	-5	0,027	CC	No	5	3,8	0,6
18 (ж)	B	-	-	-	-	No	7	12,5	7,6
19 (ж)	B	A	12	0,055	CC	No	7	8,2	1,9
20 (ж)	B	A	5	0,034	CC	No	7	2,9	1,6
21 (ж)	B	A	1,2	0,006	CC	No	7	4,8	2,8
22 (ж)	B	A	0,6	0,0039	CC	No	7	10,8	7,1
23	B	A	-12	0,055	CC	No	7	1,6	1,2
24	B	A	-5	0,034	CC	No	7	0,4	0,7
25	B	A	-1,2	0,006	CC	No	7	4,2	2,5
26	B	A	-0,6	0,0009	CC	No	7	9,8	6,4
27 (ж)	B	A	±5	±0,034	CA	No	7	2	1,4
(*1) Las posiciones A, B y C en las que el otro electrodo está empotrado son las siguientes: A: boquilla de inmersión B: compuerta corredera, C: boquilla superior (*2) No se han obtenido datos debido a la fractura de la compuerta corredera (ж) Ejemplo de Referencia									

En el Ensayo N° 12, se aplicó un potencial de + 2 V a la compuerta corredera como una parte de purga con gas Ar en la que estaba empotrado el otro electrodo, y se suministró a la misma una corriente continua. En este caso, la colada no se pudo realizar porque la compuerta corredera se había consumido debido a la erosión. Aunque, en el caso de los Ensayos N° 9 y N° 10, no se plantearon problemas incluso cuando el otro electrodo estaba empotrado en la boquilla de inmersión, la erosión de la compuerta corredera causó la interrupción de la operación de colada.

En los Ensayos N° 13 y N° 14, el otro electrodo estaba empotrado en la compuerta corredera en la que no estaba dispuesta la parte de purga con gas Ar. Se aplicó un potencial de +2 V ó -5 V a la compuerta corredera, y se suministró a la misma una corriente continua. El espesor del material depositado sobre la superficie interior del material refractario

ES 2 305 030 T3

(compuerta corredera) era relativamente pequeño, pero el porcentaje de defectos superficiales era inferior al del caso de que la corriente se suministrase a la boquilla.

5 En el Ensayo N° 15, se aplicó un potencial de -5 V a la boquilla superior en la que estaba empotrado el otro electrodo, y se suministró a la misma una corriente continua. El espesor del material depositado sobre la superficie interior del material refractario (boquilla superior) era relativamente pequeño, pero el porcentaje de defectos superficiales era inferior al del caso de que la corriente se suministrase a la boquilla.

10 En los Ensayos N° 16 y N° 17, se aplicó un potencial de +2 V ó -5 V a la boquilla superior y a la boquilla de inmersión en la que estaba empotrado el otro electrodo, y se aplicó a la misma una corriente continua. Tanto el espesor del material depositado sobre la superficie interior del material refractario como el porcentaje de defectos superficiales eran pequeños, y por tanto esta condición de operación se consideró conveniente.

15 En los Ensayos N° 18 a N° 27, se llevó a cabo una prueba similar usando el acero del tipo B (acero ultra bajo en carbono). A partir de los resultados obtenidos, se averiguó que el acero ultra bajo en carbono proporcionaba un aumento en la cantidad del material depositado. Adicionalmente, como normalmente se requiere una gran calidad de superficie para los productos finales de dicho tipo de acero ultra bajo en carbono, se podría suponer que el porcentaje de defectos superficiales tiende a deteriorarse. En los Ensayos N° 22 y N° 26, una densidad de corriente se redujo hasta 0,0009 A/cm², y se aplicó un potencial de +0,6 V ó -0,6 V. En estos casos, no se pudo discernir un efecto notable sobre 20 la prevención del depósito, y se encontró un mayor porcentaje de defectos superficiales.

En los Ensayos N° 21 y N° 25, se empleó una densidad de corriente de 0,006 A/cm², y se pudo discernir un cierto efecto sobre la prevención del depósito y se observó un mayor porcentaje de defectos superficiales. En los ensayos N° 19, N° 20, N° 23 y N° 24, se aumentó más la densidad de corriente, y se pudo obtener un efecto más conveniente. 25 En los Ensayos N° 23 a N° 26, se aplicó un potencial negativo; la comparación de los resultados en estos ensayos con los de los Ensayos N° 19 a N° 22, en los que se aplicó un potencial positivo, indicó que se pudo obtener un efecto relativamente conveniente sobre la supresión del depósito.

30 Ejemplo 2

Utilizando el mismo método que en el Ejemplo 1, se coló un planchón que tenía 270 mm de espesor y una anchura de 1.200 a 1.600 mm a una velocidad de colada de 1,4 a 1,7 m/min. Sin embargo, en este caso, el material de la boquilla de inmersión era alúmina con grafito que incluía un 31% en peso de grafito, un 14% en peso de SiO₂ y el 35 resto compuesto en su mayor parte de Al₂O₃ y tenía una buena conductividad eléctrica a una temperatura del acero fundido. El primer electrodo, fabricado de acero al carbono, se fijó sobre la parte exterior circundante de la boquilla de inmersión, y el otro electrodo fabricado de alúmina con grafito se sumergió en el acero fundido desde la superficie del mismo en la artesa.

40 Una lámina que comprendía fibras refractarias que tenían Al₂O₃ y SiO₂ como componentes principales y/o un antioxidante que incluía SiO₂ como un componente principal se interpuso entre la boquilla de inmersión y la compuerta corredera que estaba en contacto con la misma, o bien entre la boquilla de inmersión y el soporte que servía para soportar la boquilla de inmersión sobre la compuerta corredera, con el fin de aislar los dos elementos entre sí. En este caso, se varió el espesor de la lámina y del antioxidante.

45 Antes del ensayo de colada, la artesa, la boquilla superior, la compuerta corredera y la boquilla de inmersión se precalentaron durante aproximadamente 3 horas utilizando un gas de combustión usual, y el revestimiento interior refractario de la artesa se ajustó a una temperatura en superficie de 1.000 a 1.200°C. Se midió la resistencia eléctrica inicial entre el primer electrodo y el otro electrodo justo antes de finalizar la colada.

50 En el ensayo de colada, se coló seis veces en secuencia acero fundido que tenía un peso de alrededor de 270 t por hornada. Se aplicó una corriente constante o bien una tensión constante entre el primer electrodo y el otro electrodo durante el período transcurrido desde el comienzo hasta el final de la colada. En este caso, la intensidad de corriente aplicada fue de 10 a 100 A y la tensión aplicada fue de 3 a 80 V. A partir de los valores de la intensidad y de la tensión, 55 se determinó la resistencia eléctrica entre el primer electrodo y el otro electrodo durante la colada.

Además, se purgó con un gas argón en un caudal de 2 a 5 litros (NL)/min en el interior del acero fundido que pasaba a través del interior de la compuerta corredera durante la colada. Se confirmó con antelación que dicho caudal no proporcionaba defectos sobre la superficie del planchón debido a la presencia del gas.

60 Una vez finalizada la colada, se recogió la boquilla de inmersión y se cortó en la dirección longitudinal con el fin de analizar la existencia del material depositado sobre la superficie interior de la misma y de medir el espesor del material depositado. Los respectivos planchones obtenidos en la segunda hornada y en la sexta hornada se laminaron en caliente para formar un fleje de acero que tuviese un espesor de 4 a 6 mm y luego se decaparon. A continuación, 65 el fleje de acero se laminó más en frío para formar un fleje de acero con un espesor de 1,6 a 1,2 mm. Luego se realizó una inspección en relación con la existencia de defectos superficiales y del estado de los defectos superficiales en los productos finales. Al mismo tiempo, se determinó el porcentaje de defectos superficiales en el producto final. En este caso, las partes, en las que se generaron los defectos resultantes de los defectos en el planchón debido al polvo del

ES 2 305 030 T3

molde, óxido de aluminio o material similar, se cortaron y retiraron del fleje de acero original, con lo que el porcentaje de defectos superficiales se determinó en la expresión del porcentaje dividiendo la longitud total de las partes retiradas por la longitud total del fleje de acero inicial. Las condiciones y resultados del ensayo se enumeran en la Tabla 3.

TABLA 3

Ensayo Nº	Condiciones del ensayo					Resultado del ensayo		
	Método para implementar el aislamiento (#1)		Resistencia eléctrica y relación entre resistencias eléctricas			Espesor del material depositado sobre la superficie interior de la boquilla de inmersión (mm)	Porcentaje de defectos superficiales (%)	
	Entre boquilla de inmersión y compuerta	Entre boquilla de inmersión y soporte	Después de precalentar la artesa (X)	Antes de finalizar la sexta hornada de colada (Y)	Valor (Y)/(X)		Planchón en 2ª hornada usado como material	Planchón en 6ª hornada usado como material
28	A 2,5	B0,2	600	72	1,2/10	5	0,6	0,9
29	A 2,5	B 0,4	600	58	0,97/10	4	0,3	0,5
30	A 4,0	A+B 1,5	1.200	8	0,07/10	2	0,3	0,4
31	A 4,0	A+B 1,5	1.050	0,5	0,005/10	1	0,3	0,3
32	A(*2)5	A+B 2,5	380 x 103	13	0,0003/10	1	0,1	0,2
33	A 2,0	B 0,6	420*	64	1,5/10	7	0,8	7,9
34	B 0,7	B 0,5	30*	32	10,6/10	11	8,4	12,8
35 (x)	Sin implementación	Sin implementación	No hubo medida	No hubo medida	-	13	9,8	11,8
(*1): A: lámina de material de fibra refractaria, B: recubrimiento de antioxidante de sistema de SiO ₂ , valores numéricos; espesor de un solo elemento o de todo el elemento (mm) (*2): Una placa de alúmina de 3 mm de espesor interpuesta solamente para el Ensayo Nº 32 * Indica la desviación con respecto a las condiciones especificadas por el alcance del presente invento. (x) Ejemplo de Referencia								

En el ensayo Nº 28, se interpuso una lámina de 2,5 mm de espesor fabricada de fibras refractarias entre la boquilla de inmersión y la compuerta corredera, y se insertó un antioxidante compuesto de un sistema de SiO₂ en un espesor de 0,2 mm entre la boquilla de inmersión y el soporte. La resistencia eléctrica inicial entre el primer electrodo y el otro electrodo justo antes del final del precalentamiento de la artesa era de 600 Ω. Este valor está dentro del intervalo definido por el alcance del presente invento. Además, la resistencia eléctrica durante la colada justo antes del final de la sexta hornada en la colada era de 72 Ω. El valor obtenido mediante la división de la resistencia eléctrica durante la colada por la resistencia eléctrica inicial (al que de ahora en adelante se le denominará relación entre resistencias) era 1,2/10, y este valor quedaba un poco por fuera del intervalo de la condición preferible. En el Ensayo Nº 28, el espesor del material depositado sobre la boquilla de inmersión era de 5 mm, lo que proporcionaba un buen resultado. Adicionalmente, los porcentajes de los defectos superficiales en los productos finales, que fueron producidos por los planchones obtenidos en las hornadas segunda y sexta, fueron un 0,6% y un 0,9%, respectivamente, y por tanto se obtuvieron unos resultados relativamente buenos.

En el Ensayo Nº 29, se interpuso una lámina de fibras refractarias de 2,5 mm de espesor entre la boquilla de inmersión y la compuerta corredera, y se insertó un antioxidante compuesto de un sistema de SiO₂ en un espesor de 0,4 mm entre la boquilla de inmersión y el soporte. La resistencia eléctrica inicial entre el primer electrodo y el otro electrodo justo antes del final del precalentamiento de la artesa era de 600 Ω. Este valor está dentro del intervalo definido por el alcance del presente invento. Además, la resistencia eléctrica durante la colada justo antes del final de la sexta hornada en la colada era de 58 Ω. La relación entre resistencias durante la colada fue de 0,97/10, y este valor quedaba dentro del intervalo de la condición preferible. En el Ensayo Nº 29, el espesor del material depositado sobre la boquilla de inmersión era de 4 mm, lo que proporcionaba un buen resultado. Adicionalmente, los porcentajes de los defectos superficiales en los productos finales, que fueron producidos por los planchones obtenidos en las hornadas segunda y sexta, fueron un 0,3% y un 0,5%, respectivamente, y por tanto se obtuvieron unos resultados relativamente buenos.

ES 2 305 030 T3

En el Ensayo N° 30, se insertó una lámina de 4,0 mm de espesor entre la boquilla de inmersión y la compuerta corredera. Además, se insertó una lámina de 1,0 mm de espesor entre la boquilla de inmersión y el soporte, y al mismo tiempo se insertó un antioxidante entre los mismos en un espesor de 0,5 mm. La resistencia eléctrica inicial entre el primer electrodo y el otro electrodo justo antes del final del precalentamiento de la artesa en la colada era de 1.200 Ω . Este valor estaba dentro del intervalo especificado por el alcance del presente invento. La resistencia eléctrica inicial era dos veces mayor que la del Ensayo N° 29. Este hecho podría deberse a que el espesor entre la boquilla de inmersión y la compuerta corredera era mayor que el del Ensayo N° 29 y la lámina adicional se interpuso entre la boquilla de inmersión y el soporte, junto con el antioxidante insertado entre los mismos. La resistencia eléctrica durante la colada justo antes de finalizar la sexta hornada en la colada era de 8 Ω , por lo que la relación entre resistencias era 0,07/10, que por tanto estaba dentro del intervalo preferible. En el Ensayo N° 30, el espesor del material depositado sobre la boquilla de inmersión era de 4 mm, proporcionando de ese modo un buen resultado. Además, los porcentajes de generación de los defectos superficiales en los productos finales, que fueron producidos por los planchones obtenidos en las hornadas segunda y sexta, fueron un 0,3% y un 0,4%, respectivamente, y por ello se obtuvieron unos resultados relativamente buenos.

En el Ensayo N° 31, el método para implementar el aislamiento fue el mismo que en el Ensayo N° 30. La resistencia eléctrica inicial entre el primer electrodo y el otro electrodo justo antes del final del precalentamiento de la artesa en la colada era de 1.050 Ω . La resistencia eléctrica durante la colada justo antes de finalizar la sexta hornada en la colada era de 0,5 Ω y el aumento de la resistencia durante la colada fue pequeño. Como resultado, la relación entre resistencias fue 0,005/10, estando así dentro del intervalo de las condiciones preferibles. En el Ensayo N° 31, el espesor del material depositado sobre la boquilla de inmersión después de la colada fue de 2 mm, proporcionando así un buen resultado. Además, los porcentajes de defectos superficiales en los productos finales, que fueron producidos por los planchones obtenidos en las hornadas segunda y sexta, fueron un 3% respectivamente, y por ello se obtuvieron unos resultados relativamente buenos.

En el Ensayo N° 32, se insertaron una lámina de 2,0 mm de espesor y una placa de alúmina de 3 mm de espesor entre la boquilla de inmersión y la compuerta corredera. Además, se insertaron una lámina de 1,8 mm de espesor y una película de antioxidante de 0,7 mm de espesor entre la boquilla de inmersión y el soporte. La resistencia eléctrica inicial entre el primer electrodo y el otro electrodo justo antes del final del precalentamiento de la artesa en la colada fue de $380 \times 10^3 \Omega$. Este valor estaba dentro del intervalo especificado por el alcance del presente invento. El espesor de la lámina y del material de recubrimiento se aumentaron, con lo que la resistencia eléctrica inicial aumentó bastante. La resistencia eléctrica durante la colada justo antes del final de la sexta hornada en la colada era de 13 Ω . De acuerdo con ello, la relación entre resistencias fue 0,0003/10, valor que por tanto estaba dentro del intervalo de las condiciones preferibles. En el Ensayo N° 32, el espesor del material depositado sobre la boquilla de inmersión después de la colada era de 1 mm, y este valor muy pequeño indica el resultado óptimo. Además, los porcentajes de defectos superficiales en los productos finales, que fueron producidos por los planchones obtenidos en las hornadas segunda y sexta, fueron un 0,1% y un 0,2%, respectivamente, y por tanto se obtuvieron unos resultados buenos.

En el Ensayo N° 33, el espesor de la lámina era de 2,0 mm y el espesor de la película recubierta era de 0,6 mm. La resistencia eléctrica inicial entre el primer electrodo y el otro electrodo justo antes de finalizar el precalentamiento de la artesa en la colada era de 420 Ω . Este valor era muy pequeño y estaba fuera del intervalo especificado por el alcance del presente invento. La resistencia eléctrica durante la colada justo antes de la finalización de la sexta hornada en la colada era de 64 Ω , y por tanto la relación entre resistencias aumentó hasta 1,5/10 y estaba fuera de la condición preferible. En el Ensayo N° 33, el espesor del material depositado sobre la boquilla de inmersión era de 7 mm y relativamente grande. Además, los porcentajes de defectos superficiales en los productos finales, que fueron producidos por los planchones obtenidos en las hornadas segunda y sexta, fueron un 0,8% y un 7,9%, respectivamente. En particular se obtuvieron unos resultados insatisfactorios para la sexta hornada.

En el Ensayo N° 34, sin utilizar ninguna lámina construida de fibras refractarias, se insertaron una películas de un antioxidante que incluía el sistema de SiO_2 de 0,7 mm y 0,5 mm respectivamente entre la boquilla de inmersión y la compuerta corredera y entre la boquilla de inmersión y el soporte. La resistencia eléctrica inicial entre el primer electrodo y el otro electrodo justo antes de finalizar el precalentamiento de la artesa en la colada era de 30 Ω . Este valor era extremadamente pequeño y quedaba fuera del intervalo especificado por el alcance del presente invento. La resistencia eléctrica justo antes del final de la sexta hornada en la colada era de 32 Ω , y por tanto la relación entre resistencias aumentó hasta 10,6/10. Este valor era muy grande y estaba situado ampliamente fuera de las condiciones preferibles. En el Ensayo N° 34, el espesor del material depositado sobre la boquilla de inmersión era de 11 mm y muy grueso. Además, los porcentajes de defectos superficiales en los productos finales, que fueron producidos por los planchones obtenidos en las hornadas segunda y sexta, fueron un 8,4% y un 12,3%, respectivamente. Estos valores indicaron resultados insatisfactorios.

En el Ensayo N° 35, no se realizó el aislamiento eléctrico ni el suministro de corriente. El espesor del material depositado sobre la boquilla de inmersión fue de 13 mm, y este valor indica el peor resultado. Además, los porcentajes de defectos superficiales en los productos finales, que fueron producidos por los planchones obtenidos en las hornadas segunda y sexta, fueron un 9,8% y un 11,8%, respectivamente.

ES 2 305 030 T3

Ejemplo 3

Mediante la utilización del mismo método que en el Ejemplo 1, se produjo un planchón que tenía un espesor de 270 mm y una anchura de 1.000 mm. La máquina de colada continua del tipo de flexión vertical estaba dotada del aparato de suministro de acero fundido mostrado en la Figura 1, en el que una parte para purgar con gas construida de un material refractario poroso estaba dispuesta en la placa superior de la compuerta corredera.

En la colada continua, se aplicó un potencial de 1,5 a 25 V entre el primer electrodo y la boquilla de inmersión, y se suministró una corriente continua o alterna entre los mismos. Cuando se suministró la corriente continua, se aplicó un potencial positivo o negativo a la boquilla de inmersión. En varios ensayos, no se suministró corriente entre el primer electrodo y la boquilla de inmersión. En varios ensayos, además, se purgó con gas argón a un caudal de 20 litros (NL)/min. en el acero fundido procedente de la parte de purga con gas dispuesta en la compuerta corredera.

Después de la colada, se recogió la boquilla de inmersión y se cortó en la dirección longitudinal con el fin de inspeccionar el material depositado sobre la superficie en las proximidades de las lumbreras de salida en cuanto a la existencia del depósito y el estado del mismo. Además, el planchón así obtenido se laminó en frío para formar un fleje de acero que tuviese un espesor de 0,8 a 1,2 mm utilizando el mismo método que en el Ejemplo 1, y luego se realizó la inspección en cuanto al porcentaje de defectos superficiales, usando el mismo método que en el Ejemplo 1. Las condiciones de los ensayos y los resultados obtenidos aparecen en la Tabla 4.

TABLA 4

Ensayo Nº	Tipo de acero	Posición empotrada del otro electrodo (*1)	Tensión aplicada (V)	Intensidad suministrada (A/cm ²)	Tipo de corriente	Purga con gas argón		Espesor de un material depositado sobre la superficie interior de material refractario (mm)	Porcentaje de defectos superficiales (%)
						Parte de suministro de corriente	Boquilla superior (NL/min)		
36 (x)	A	A	17	0,17	CC	No	5	3,0	1,8
37	A	A	-17	0,17	CC	No	5	1,3	0,2
38 (x)	A	A	10	0,092	CC	No	5	3,5	2,1
39	A	A	-10	0,092	CC	No	5	1,6	0,3
40 (x)	A	A	±17	0,17	AC	No	5	3,0	1,8
41 (x)	A	-	-	-	-	Sin boquilla	20	5,0	2,3
42 (x)	A	-	-	-	-	Sin boquilla	5	13	5,1
(*1) La posición A en la que el otro electrodo está empotrado indica la boquilla de inmersión. (x) Ejemplo de Referencia									

En el Ensayo Nº 36, se aplicó un potencial positivo a la boquilla de inmersión y se suministró a ésta una corriente continua a una densidad de corriente de 0,17 A/cm². El espesor del material depositado sobre la superficie interior de la boquilla de inmersión era de 3,0 mm y el porcentaje de defectos superficiales un 1,8%.

En el Ensayo Nº 37, se aplicó un potencial negativo a la boquilla de inmersión y las demás condiciones fueron las mismas que las del Ensayo Nº 36. El espesor del material depositado sobre la superficie interior de la boquilla de inmersión era de 1,3 mm y el porcentaje de defectos superficiales fue un 0,2%, por lo que el espesor del material depositado y el porcentaje de defectos superficiales fueron mejores que los del Ensayo Nº 36.

En el Ensayo Nº 38, se aplicó un potencial positivo a la boquilla de inmersión y se suministró a ésta una corriente continua a una densidad de corriente de 0,092 A/cm². El espesor del material depositado sobre la superficie interior de la boquilla de inmersión fue de 3,5 mm y el porcentaje de defectos superficiales fue un 2,1%.

En el Ensayo Nº 39, se aplicó un potencial negativo a la boquilla de inmersión, y las demás condiciones eran las mismas que las del Ensayo Nº 38. El espesor del material depositado sobre la superficie interior de la boquilla de inmersión era de 1,8 mm y el porcentaje de defectos superficiales fue un 0,3%, por lo que el espesor del material depositado y el porcentaje de defectos superficiales fueron mejores que los del Ensayo Nº 38.

ES 2 305 030 T3

En el Ensayo N° 40, se suministró una corriente alterna a una densidad de corriente de $0,17 \text{ A/cm}^2$ y las demás condiciones eran iguales que las del Ensayo N° 36. El espesor del material depositado sobre la superficie interior de la boquilla de inmersión en las proximidades de los orificios de descarga era de 3,0 mm y el porcentaje de defectos superficiales fue un 1,8%, por lo que el espesor del material depositado y el porcentaje de defectos similares fueron

En el Ensayo N° 41, no se suministró corriente y se purgó con gas argón desde la compuerta de corredera al interior del acero fundido a un caudal de 20 litros (NI)/min. El espesor del material depositado sobre la superficie interior de la boquilla de inmersión en las proximidades de los orificios de descarga era de 5,0 mm y el porcentaje de defectos superficiales fue de un 2,3%, por lo que el espesor del material depositado y el porcentaje de defectos superficiales fueron relativamente insatisfactorios.

En el Ensayo N° 42, no se suministró corriente ni se purgó con gas argón el interior del acero fundido desde la compuerta corredera. En este caso, tuvo lugar un atasco de la boquilla de inmersión durante la colada, por lo que la colada tuvo que pararse en la tercera hornada. Después de colar, el espesor del material depositado sobre la superficie interior de la boquilla de inmersión en las proximidades de las lumbreras de salida fue de 13 mm y el porcentaje de defectos superficiales fue un 5,1%.

Aplicabilidad industrial

De acuerdo con el método que responde al presente invento, se puede prevenir con seguridad el depósito de óxido de aluminio o de un material similar contenidos en el acero fundido sobre la superficie interior de la boquilla superior, el mecanismo de control de caudal y la boquilla de inmersión. Además, la aplicación del método de colada continua hace posible prevenir que los productos finales manufacturados por el planchón obtenido generen defectos superficiales causados por los defectos tales como fundente de molde, óxido de aluminio, y burbujas de gas en el planchón. Más aún, el método de colada continua previene eficazmente el atasco de la boquilla de inmersión durante la colada, permitiendo de ese modo la aplicabilidad de que se provea sobre una amplia área de la colada continua.

REIVINDICACIONES

1. Un método de colada continua, que comprende suministrar un acero fundido almacenado en una artesa al interior de un molde que usa un aparato para suministrar acero fundido, cuyo aparato comprende una artesa para almacenar acero fundido, una boquilla superior como una salida dispuesta en el fondo de la artesa, una boquilla de inmersión para suministrar el acero fundido al interior de un molde y un mecanismo de control de caudal situado entre la boquilla superior y la boquilla de inmersión para controlar el caudal del acero fundido desde la artesa al interior del molde, en el que la superficie que está en contacto con el acero de uno de entre la boquilla superior, la boquilla de inmersión y el mecanismo de control de caudal se forma de un material refractario que tiene una conductividad eléctrica no inferior a 1×10^3 S/m a una temperatura no menor que el punto de fusión del acero,

en donde el aparato comprende además un par de electrodos conectados por una fuente de alimentación de energía eléctrica, en donde un primer electrodo está colocado en una de entre la pared de la artesa, la boquilla superior y el mecanismo de control de caudal de tal manera que esté en contacto con el acero fundido, y el otro electrodo está dispuesto en una parte formada del material refractario, que tiene una conductividad eléctrica no menor que 1×10^3 S/m a una temperatura no inferior a la del punto de fusión del acero, cuya parte es la boquilla de inmersión y en donde un gas de purga no se suministra a través de dicha parte, y

en donde una parte de purga con gas está dispuesta en uno ó dos elementos seleccionados de entre la boquilla superior y el mecanismo de control de caudal, en donde el elemento (o elementos) que contiene (o que contienen) una parte de purga con gas no tienen electrodo,

en donde dicho método comprende además aplicar un potencial negativo a la boquilla de inmersión y suministrar una corriente continua entre la boquilla de inmersión y el acero fundido que pasa a través del interior de la boquilla de inmersión para prevenir el atasco de la boquilla de inmersión.

2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el material refractario comprende alúmina con grafito.

3. Un método de acuerdo con las reivindicaciones 1 ó 2, en el que se interpone un elemento aislante entre el primer electrodo y el otro electrodo.

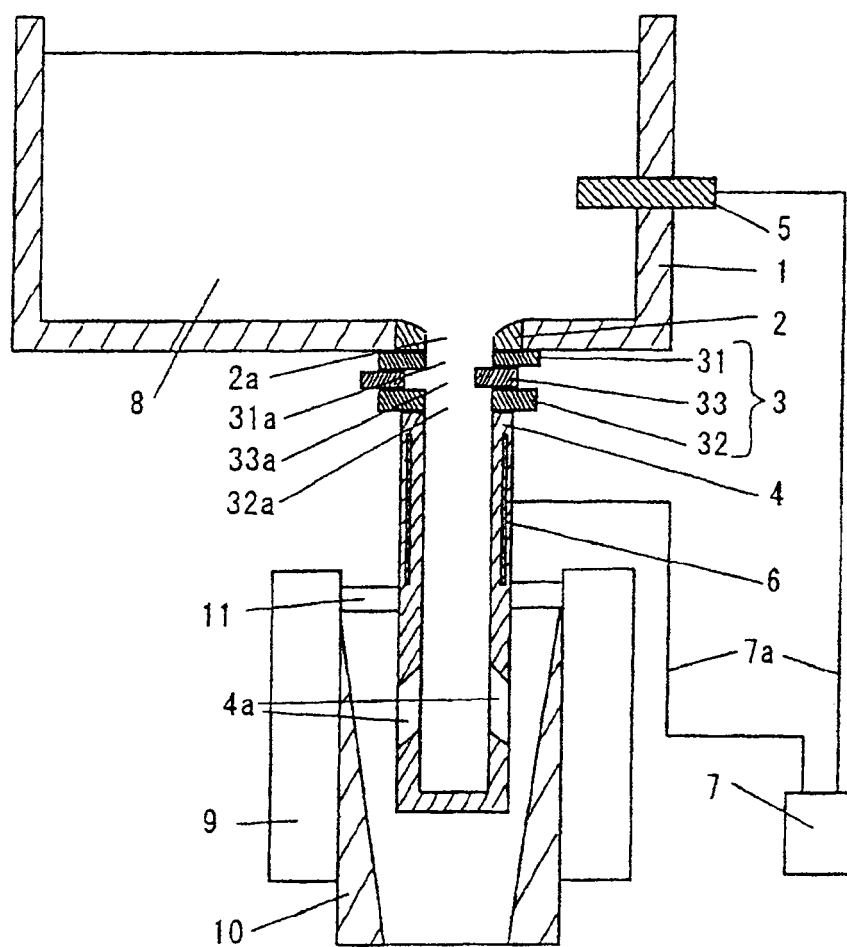
4. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende precalentar la artesa o reciclar una artesa para colar sin precalentamiento, luego ajustar la resistencia eléctrica entre el primer electrodo y el otro electrodo para que sea no inferior que 500Ω , antes de que se suministre el acero fundido.

5. Un método de acuerdo con la reivindicación 4, que comprende controlar la resistencia eléctrica calculada a partir de los valores de la intensidad y de la tensión aplicada entre el primer electrodo y el otro electrodo durante un período transcurrido desde el comienzo hasta el final de la colada, para que sea inferior que 1/10 de la resistencia eléctrica entre el primer electrodo y el otro electrodo antes de que se suministre el acero fundido.

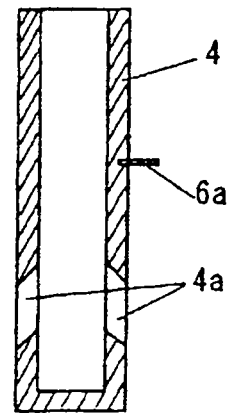
6. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que se suministra una corriente a una densidad de corriente de no menos que $0,001 \text{ A/cm}^2$ y menos que $0,3 \text{ A/cm}^2$.

7. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la tensión aplicada no es menor que 0,5 V y no mayor de 100 V.

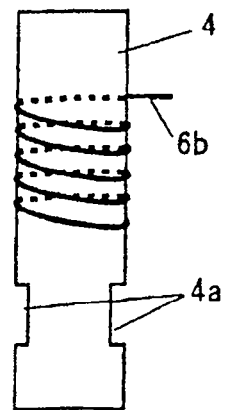
F I G . 1



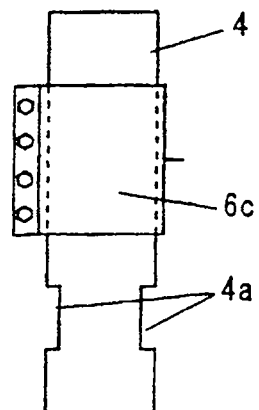
F I G . 2



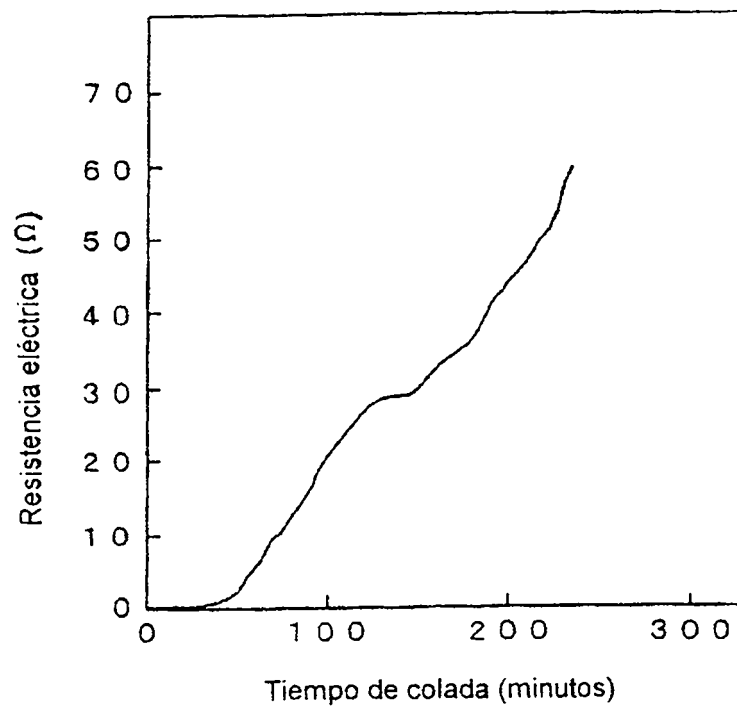
F I G . 3



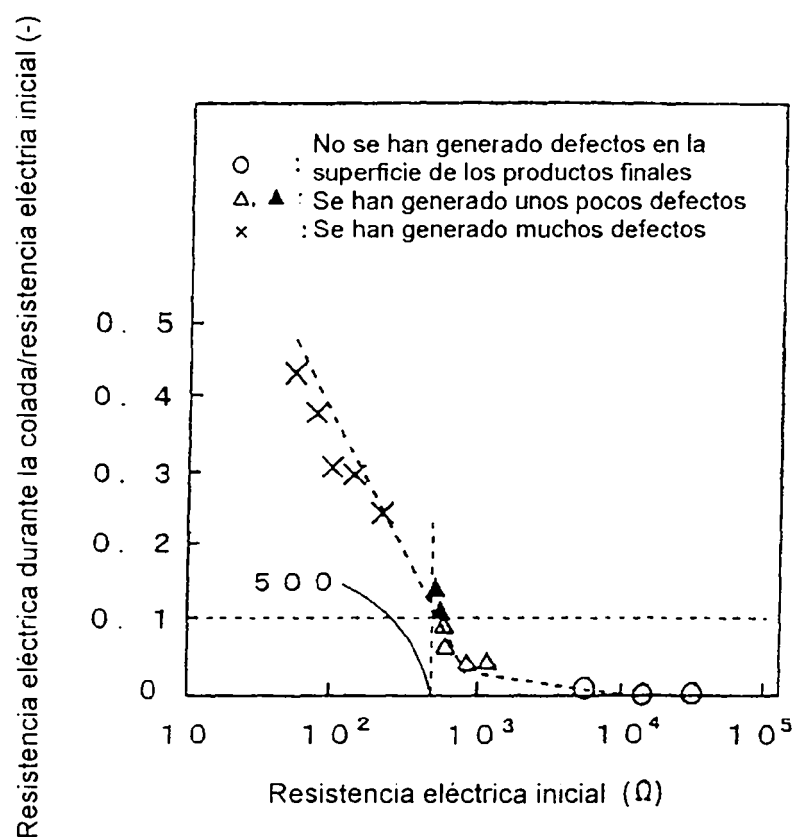
F I G . 4



F I G . 5



F I G . 6



F I G . 7

